

ЭК

Электронные компоненты

Журнал для разработчиков: компоненты, решения, теория, опыт, события, обзоры

Медиагруппа «Электроника»

5/2013

(с. 6) >>> Михаил Павлюк, генеральный директор ПМК «Миландр»: «Миландр» сейчас можно назвать практически идеальной командой»



(с. 12) >>> Алексей Славгородский, технический директор eFind.ru: «... в ближайшее время собираемся выйти и на рынки Европы и США»



(с. 130) >>> Андрей Насонов, начальник отдела электрического контроля Группы компаний Остек: «... традиционные методы входного контроля уже не работают»



XP2 VD1 OF ON XP1
EVAL 16a MILANDR 2010 www.milandr.ru
XP4 XP5 XP6 XP8 XP10 XP11 XP9 GND GND
XP7 J4 1 10000 XP14
MCL DTOS-850V 0+
K145SP1T 1037
K145DEV1 1120
81100 005 H R13

20 лет

МИЛАНДР
Группа компаний

на рынке микроэлектроники
созданная в СССР
принадлежит будущим поколениям
создана в России

Миландр 104

Поздравляем!

EVE - ЭТО ЛИТИЕВЫЕ ХИТЫ

ENERGY VERY ENDURE
www.evebattery.com



Батарейки

Литий-тионилхлорид (Li-SOCl₂): высокеемкостные: до 35 Ач (тип DD)
высокотемпературные: -40... +150°C
с большим током разряда

Литий-Диоксид Марганца (Li-MnO₂)

Особенности элементов	Li-SOCl ₂	Li-MnO ₂
Стабильное напряжение	3,6 В	3,0 В
Низкий ток саморазряда	< 1% в год	
Плотность энергии	700 Вт/кг	370 Вт/кг
Длительный срок службы	до 10 лет	
Диапазон рабочих температур	-55... 85 °C	
Применение	счетчики энергоресурсов, датчики, платежные терминалы, системы безопасности, медицинская и военная техника и др.	

Аккумуляторы

Литий-ионные (Li-ion)

Литий-железофосфатные (Li-FePO₄)

Особенности аккумуляторов	Li-ion	Li-FePO ₄
Стабильное напряжение (ячейки)	3,7 В	3,2 В
Количество циклов заряд-разряд	500	2000
Емкость ячейки	до 5 Ач	до 50 Ач
Применение	Портативная электроника Электрические игрушки	Базовые станции мобильной связи Электромобили Электроинструмент Системы аварийного питания

EVE
ENERGY VERY ENDURE

EVE ENERGY CO., LTD.
Add: NO. 36, Huifeng 7 Road,
Zhongkai High Technology Development Zone,
Tel. +86-752-2606966
Fax: +86-752-2606033
E-mail: sales@evebattery.com

Компэл
www.compel.ru

Москва
Тел.: (495) 234-7764, доб. 2410
Роман Бодров
E-mail: r.bodrov@compel.ru

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-94-03, доб. 4260
Селезнев Михаил
E-mail: sma.spb@compel.ru

ООО «СТЭК»
www.microstack.ru

Санкт-Петербург
Тел.: +7(812)985-87-39
Сергеев Дмитрий
E-mail: ds@stack.spb.ru

КВАРЦЕВЫЕ И MEMS ГЕНЕРАТОРЫ, ФИЛЬТРЫ



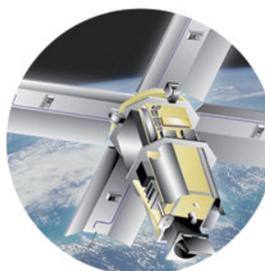
VECTRON
INTERNATIONAL
A DOVER COMPANY



ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

НОВИНКИ 2013 ГОДА

- ОСХО генератор на 100 МГц серии OX-205 с ультранизким уровнем шума
Минимальный уровень фазового шума: -135 дБ/Гц (100 Гц)
- Высокочастотный генератор с минимальным джиттером
Частотный диапазон: 800 МГц до 2,5 ГГц
Джиттер: 12 Fsec RMS, 12 кГц до 20 МГц
- Генератор управляемый напряжением с низкими фазовыми шумами серии VX-705
Выходные частоты: от 77,76 МГц до 170 МГц
Выходной сигнал: CMOS, PECL
Питание: 3,3 В
- MEMS-генераторы
Срок производства – 1 неделя!
Низкая себестоимость
- Высокотемпературные продукты. Генераторы. Кварцевые резонаторы
Температурный диапазон: -55... +230 °C
Напряжение питания: 1,8; 2,5; 3,3; 5,0 В
Частотный диапазон: 32 кГц до 40 МГц

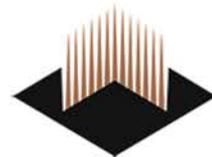


ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

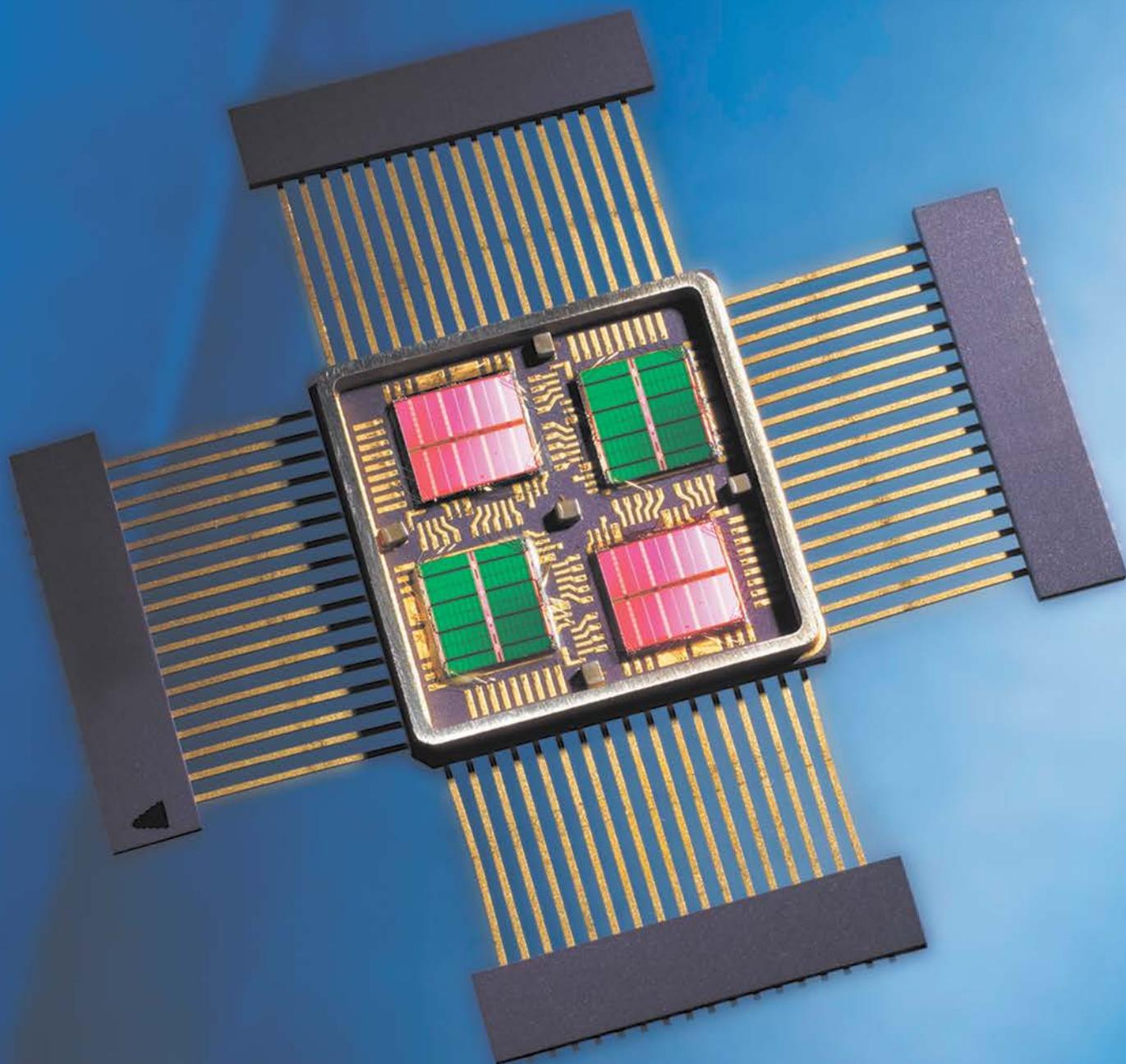
www.eltech.spb.ru | vectron@eltech.spb.ru | ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР VECTRON

■ Санкт-Петербург (812) 327-90-90 ■ Москва (499) 270-0787 ■ Новосибирск (383) 363-3550 ■ Екатеринбург (343) 311-4228 ■ Ростов-на-Дону (863) 206-2020





**Высоконадежные микросхемы памяти SRAM
в керамических корпусах для космических приложений!**



ЗАО "Актел.ру"

www.whiteedc.ru, телефон бесплатной линии: 8 800 100 62 09

содержание ЭК №5/2013

16+

РЫНОК

- 6 Капитан «Миландра»
- 11 Весна и «ЭкспоЭлектроника»
- 12 ALL4BOM — новый сервис для разработчиков и производителей

РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ

- 14 Лев Шапиро
Спецификации (Data Sheets) зарубежных компонентов
- 16 Стив Виэ
Выбор конденсатора фильтра для приложений со стабилизатором напряжения
- 19 Александр Губа
От лаборатории — к исследовательскому центру

ТОПОЛОГИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

- 22 Барри Олни
О межслойных перемычках

ИСПЫТАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ

- 26 Пол Ли
Испытания источников питания на принудительный отказ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

- 29 Джамиль Кава, Энди Бидл
Транзисторы FinFET — революция в полупроводниковой технологии

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 33 Никита Бочкарев
Обзор стандарта связи LTE . Часть 5. Ретрансляция сигнала в LTE Advanced и технологии 5G
- 37 Т.В.Б. Субраманиам и Мохаммед Чалил
Реализация цифрового радио
- 42 Карло Канциани
Разработка беспроводных устройств с питанием от микросборщиков энергии

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

- 47 Флориан Мюллер
Улучшение регулировочных характеристик обратноходовых преобразователей с несколькими выходами

СЕТИ И ИНТЕРФЕЙСЫ

- 52 Вячеслав Завьялов
Особенности стека TCP/IP для встраиваемых систем

СВЕТОТЕХНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

- 56 Питер Грин
Понижающий светодиодный драйвер с активной коррекцией коэффициента мощности

www.elcp.ru

Руководитель направления «Разработка электроники» и главный редактор **Леонид Чанов**; ответственный секретарь **Марина Грачёва**; редакторы: **Елизавета Вороница**; **Виктор Ежов**; **Екатерина Самкова**; **Владимир Фомичёв**; **Леонид Чанов**; редакционная коллегия: **Валерий Григорьев**; **Борис Рудяк**; **Владимир Фомичёв**; **Леонид Чанов**; директор по рекламе: **Ольга Попова**; реклама: **Антон Денисов**; **Елена Живова**; распространение и подписка: **Марина Панова**, **Василий Рябишников**; арт-директор: **Михаил Павлюк**; директор издательства: **Михаил Симаков**
Адрес издательства: Москва, 115114, ул. Дербеневская, д. 1, п/я 35, тел.: (495) 741-7701; факс: (495) 741-7702; эл. почта: info@elcp.ru, www.elcp.ru

Адрес издательства на Украине: Киев, ул. Попудренко, 52, оф. 605.

Руководитель проекта **Андрей Шерстюк**. Директор **Елена Курченко** e.kurchenko@electronica.ua.com.ua. Реклама, распространение и подписка: ООО «Prepaid Solutions» тел.: +38-044-586-56-26; эл. почта: reklama@ps.kod.ua

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА: Мир электроники (Самара): 443080, г. Самара, ул. Революционная, 70, литер 1; тел./факс: (846) 267-3139, 267-3140; e-mail: info@eworld.ru, www.eworld.ru. Радиоэлектроника: 620107, г. Екатеринбург, ул. Гражданская, д. 2, тел./факс: (343) 370-33-84, 370-21-69, 370-19-99; e-mail: info@radioel.ru, www.radioel.ru. ЭЛКОМ (Ижевск): г. Ижевск, ул. Ленина, 38, офис 16, тел./факс: (3412) 78-27-52, e-mail: office@elcom.udmlink.ru, www.elcompany.ru. ЭЛКОТЕЛ (Новосибирск): г. Новосибирск, м/р-н Горский, 61; тел./факс: (3832) 51-56-99, 59-93-31; e-mail: info@elcotel.ru, www.elcotel.ru. Издательство «Электроника инфо»: 220015, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Пушкина 29Б. Тел./факс: +375 (17) 204-40-00. E-mail: electronica@nsys.by, www.electronica.by. IMRAD (Киев): 03113, г. Киев, ул. Шутова, д. 9, оф. 211; тел./факс: +380 (44) 495-2113, 495-2110, 495-2109; e-mail: imrad@tex.kiev.ua, www.imrad.kiev.ua

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory». Использование материалов возможно только с согласия редакции. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Электронные компоненты» обязательна. Ответственность за достоверность информации в рекламных объявлениях несут рекламодатели.

Индекс для России и стран СНГ по каталогу агентства «Роспечать» — 47298, индекс для России и стран СНГ по объединенному каталогу «Пресса России. Российские и зарубежные газеты и журналы» — 39459. Свободная цена. Издание зарегистрировано в Комитете РФ по печати. ПИ №77-17143. Издательство зарегистрировано на Украине, свидетельство о государственной регистрации КВН№17602-6452 ПР.

Подписано в печать 16.03.2013 г.

Учредитель: ООО «ИД Электроника». Тираж 6000 экз.

Изготовлено ООО «Группа Мор». г. Москва, Хохловский пер., д. 9. Тел.: +7 (495) 917-80-37.

Новое поколение систем на кристале (СНК) с массивами программируемой логики!



ЗАО "Актел.ру"

www.actel.ru, телефон бесплатной линии: 8 800 100 62 09

РЕКЛАМА

АЦП и ЦАП

59 Илья Викторов

Входные каскады и согласующие схемы для АЦП

ДАТЧИКИ

64 Датчик абсолютного положения: магнитный или оптический?

ГЕНЕРАТОРЫ, ТАЙМЕРЫ И СИНТЕЗАТОРЫ СИГНАЛОВ

68 Виктор Кочемасов, Елена Хасьянова

Тактовые генераторы с распределенным спектром

72 Пол Нанн

Применение MEMS-технологий в часах реального времени

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ И МИКРОПРОЦЕССОРЫ

76 Суад Юсуф

Эффективная и экономичная система управления

81 Скотт Гарднер

Эффективные процессорные ядра Synopsys для встраиваемых применений

ВСТРАИВАЕМОЕ ПО

85 Дмитрий Симонов

Android вместо Linux: особенности применения во встраиваемых системах

ПЛИС и СБИС

88 Стефано Дзамматио, Клайв Дейвис

Повышение безопасности системы с помощью технологии TrustZone от ARM

ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

90 Игорь Запороженко

Высокоскоростные соединители TE Connectivity для специальных применений

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

95 Джеймс Стэнбридж

Практическое применение JTAG-тестирования

СПРАВОЧНЫЕ СТРАНИЦЫ

98 Джон Крафт

Преобразование импульсного понижающего стабилизатора в интеллектуальный драйвер светодиодов

105 Рич Новаковски

Методы формирования положительного и отрицательного выходного напряжений

110 НОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

contents #5/2013

ELECTRONIC COMPONENTS #5 2013

MARKET

- 6 **Captain of Milandr. Interview**
- 11 **Spring and ExpoElectronica 2013**
- 12 **ALL4BOM — New Service for Developers and Manufacturers**

DESIGN and DEVELOPMENT

- 14 Lev Shapiro
Data Sheets for Components
- 16 Steve Weir
Filter Capacitor Selection Criteria for Linear Voltage Regulator Applications
- 19 Alexander Guba
From Lab to Research Center

PCB TOPOLOGY

- 22 Barry Olney
The Plain Truth about Plane Jumpers

TESTING

- 26 Paul Lee
Impact of Burn-in Testing on Power Supply Reliability

MICROELECTRONICS

- 29 Jamil Kawa and Andy Biddle
FinFETs Herald a Seismic Shift in Semiconductor Technology

WIRELESS

- 33 Nikita Bochkarev
Reviewing LTE. Part 5
- 37 T.V.B. Subrahmanyam, Mohammed Chalil
Emergence of High Performance Digital Radio
- 42 Carlo Canziani
Micro-Harvesters Powering Wireless Devices

POWER SUPPLIES

- 47 Florian Mueller
Improving the Regulation of Multiple Output Flyback Converters

NETWORKS and INTERFACES

- 52 Vyacheslav Zavyalov
Features of TCP/IP Stack for Embedded Systems

LIGHTING and OPTOELECTRONICS

- 56 Peter Green
Buck LED Driver with Active PFC

ADC and DAC

- 59 Ilya Victorov
Wideband Baluns for Application to ADC Input Stages

SENSORS

- 64 **Absolute Encoder Design: Magnetic or Optical?**

OSCILLATORS, TIMERS and WAVEFORM SYNTHESIZERS

- 68 Victor Kochemasov and Elena Khasyanova
Spread Spectrum Clock Oscillators
- 72 Paul Nunn
MEMS Are a Great Fit for Real-Time Clocks

MCU and MPU

- 76 Suad Jusuf
Efficient and Economical Control
- 81 Scott Gardner
Efficient CPU Cores for Embedded Apps

EMBEDDED SOFTWARE

- 85 Dmitry Simonov
Embedded Android? Call Me, Maybe

FPGA and VLSIC

- 88 Stefano Zammattio, Clive Davies
Partitioning a System for Safe and Nonsafe Applications Using ARM's TrustZone Technology

PASSIVE

- 90 Igor Zaporozhchenko
High-Speed Connectors from TE Connectivity for Specialized Applications

THEORY and PRACTICE

- 95 James Stanbridge
JTAG Testing in Practice

REFERENCE PAGES

- 98 Jon Kraft
Convert a Buck Regulator into a Smart LED Driver, Including Dimming
- 105 Rich Nowakowski
Techniques for Implementing a Positive and Negative Output Voltage for Industrial and Medical Equipment

110 NEW COMPONENTS IN THE RUSSIAN MARKET

КАПИТАН «МИЛАНДРА»

В этом году «Миландру» исполняется 20 лет. Немногие российские компании на рынке электроники, созданные в наше время, могут похвастать такой историей. Конечно, мы не могли обойти стороной подобное событие и заранее договорились об интервью с Михаилом Ильичем Павлюком — генеральным директором и владельцем компании (ему принадлежит контрольный пакет акций). Обычно в подобных материалах описывается славный путь компании, перечисляются достижения, рассказывается о планах на будущее. Однако, зная Михаила Павлюка, мы подозревали, что наше интервью выйдет за рамки привычной беседы.

Но действительность превзошла ожидания. Разговор шел, нарушая привычные шаблоны, без малого 5 часов! От классического варианта интервью «вопрос-ответ» ничего не осталось. По сути, наша беседа напомнила исповедь или мемуары. Но мемуары Михаилу Павлюку писать явно рано — судя по его энергии, он еще не сделал и половины того, что ему предназначено. В конце концов, было решено скомпоновать материал в хронологическом порядке, изрядно его сократив.

Читатель не найдет в интервью технических подробностей микросхем, выпускаемых компанией (об этом мы надеемся написать позже), да и юбилейный рассказ у нас получился необычный — больше не о компании, а о ее основателе Михаиле Павлюке. Но это логично, ведь он тоже человек необычный. А подобное притягивает подобное...



НАЧАЛО

Я родился 16 ноября 1966 г. в небольшом поселке на Западной Украине. Основным его отличием от многих таких же поселков было то, что в нем исстари добывалась соль, а в таких местах, как известно из мировой истории, кипела жизнь, развивались ремесла. Не был исключением и наш поселок — судя по рассказам, какие я слышал в детстве, в нем буквально витал дух предпринимательства.

Электроника в нашей семье началась с отца. В 1964 г. он окончил Донецкий политехнический институт, факультет «Автоматики и телемеханики». После окончания института работал на шахтах, в нефтяной промышленности и, наконец, оказался в Ивано-Франковском «Родоне», одном из центров советской микроэлектроники. В былое время там работало 10 тыс. человек. На заводе отец стал начальником лаборатории по ремонту измерительной техники.

У «Родона» были партнерские отношения с Московским институтом электронной техники (МИЭТ) — на заводе работали выпускники института. Я поступил в заочную физико-математическую школу МИЭТ, успешно закончил ее и после окончания средней школы поступил в МИЭТ. До сих пор помню впечатление, какое произвел на меня институт — большие, хорошо оборудованные учебные аудитории, спортзал,

да и сам Зеленоград. Все увиденное произвело на меня сильное впечатление, наполнило душу гордостью, желанием учиться, достичь многого в науке и сделать неплохую карьеру.

В ту пору МИЭТ давал практические знания, которые были нужны в производстве. Его выпускники имели своего рода знак качества. Практику я проходил в НИИ физических проблем. Меня сразу приняли там как своего, была доверительная атмосфера. Такую же мы стараемся поддерживать сейчас и в «Миландре».

В те времена в стране уже начались стремительные политические изменения, развал экономики. Часто политическим дискуссиям уделяли больше времени, чем работе... Но мне это было мало интересно, почти все время я уделял работе, спорту. Читал специализированные иностранные журналы, планировал эксперименты, разбирался в оборудовании. Таким образом, после окончания института я был уже практически сформировавшимся инженером. Моя дипломная работа называлась «Исследование качества подзатворных окислов с точки зрения пробоя и радиационной стойкости».

СТАНОВЛЕНИЕ

После окончания института в 1990 г. я остался работать в МИЭТе. Своей технологической базы у инсти-

тута не было, и меня командировали на «Ангстрем». Там я работал инженером-исследователем — разрабатывал маршруты изготовления транзисторов, микросхем, контролировал каждую технологическую операцию, проводил конечные измерения и сдавал изделия. В 1992 г. я поступил в аспирантуру, но окончить ее не удалось — не было финансирования на проведение исследований, инфляция обесценила аспирантскую стипендию, и прожить на нее стало невозможно.

У меня был план после окончания института поработать два года на родном «Родоне», вернуться в МИЭТ и защитить диссертацию. Но выполнить его в первоначальном виде не удалось. И все же в 1992 г. мои намерения работать с «Родоном» осуществились, правда, довольно-таки странным образом, — руководство предложило мне стать дилером завода по продаже его продукции на российском рынке. Это были и симпатичные телефоны «Элитон 201» и, конечно, интегральные микросхемы.

На то время, вместе с бывшими сотрудниками НИИ физических проблем мы уже создали ТОО «Промышленно-коммерческая компания Миландр». Название образовали от имен учредителей — Михаил, Лариса, Андрей. С должности Генерального директора и началась моя карьера. Компания была в твор-

ческом поиске — торговали чем придется, и предложение о сотрудничестве было очень кстати. Начали мы с того, что воспользовались услугами НИИ «Научный центр», и с его телетайпа разослали всем предприятиям электронной и радиопромышленности сообщение, что ТОО «ПКК Миландр» представляет интерес «Родона» в России и готово поставлять любую продукцию этого предприятия. Первый заказ пришел из Белгорода, и дело пошло. Но учредители недолго были вместе, и предприятие пришлось закрыть. А сотрудники вместе со мной образовали новую компанию — ЗАО «Миландр и Ко». Так, в 1993 г. состоялось рождение второго «Миландра», юбилей которого мы празднуем в этом году. Новыми учредителями компании стали Павлюк М.И., Тарасенко С.В., Асанов А.В., Строганов А.В. Новая компания взяла на себя все обязательства по поставке ЭКБ, по долгам и приобрела свою основную специализацию — поставку электронных компонентов.

Дела шли неплохо, и нам «Родон» отдал довольно-таки большой регион с конкретными потребителями, а со временем мы стали работать как склад для других украинских производителей микросхем. Мы стремились увеличить объемы продаж микросхем, но сразу оказались в невыгодном положении, т.к. россий-

ские дистрибьюторы, которые в то время начали активно развиваться, распродала неликвиды, достававшиеся им за копейки, а мы продавали вновь произведенную продукцию, которая в условиях тогдашней инфляции не могла стоить дешево.

Постепенно мы начали налаживать и поставку комплектующих для производства ИМС из России в Украину. Например, «Родону» нужны были корпуса микросхем, и мы установили контакты с заводами в Торжке, Йошкар-Оле, а заодно стали дилерами этих предприятий.

Мы не ограничивались микросхемами — продавали холодильники, пылесосы и т.д., которые получали по бартеру. Но это было попутное направление, которому мы не придавали серьезного значения.

«Миландр» быстро рос на дистрибуции. Я уже строил планы достичь в 1997 г. оборота примерно в 100 млн руб. (более 16 млн долл.). Мы даже купили часть акций «Родона», и я готов был стать директором этого завода. Но политическая и экономическая ситуация в Украине изменилась. Из-за дряг все разрушилось. Мне пришлось продать все украинские активы — вести дела там стало невозможно.

К тому моменту в «Миландре» образовались два основных направления — поставка ИМС с приемкой «5» для военной промышленности и микро-

схемы для автомобильной электроники. Первое направление приносило основной доход, а второе было перспективным, но в его рамках мы начали поставлять также микросхемы дальнего зарубежья. Мир внутри компании длился недолго, и в 1996 г. начался разлад. У англичан есть хорошая поговорка: «Деньги хороший слуга, но плохой менеджер». Сработала она и на этот раз. Пока основной доход приносили украинские предприятия, проблем не возникало. Мы поровну делили прибыль — даже у учредителей зарплаты были одинаковые. Мне казалось, что так правильно, и мое мнение не оспаривалось. Но когда доля автомобильной электроники стала превалировать в доходе, Андрей Асанов, который возглавлял это направление, заговорил о несправедливости равного распределения доходов. У него возник конфликт с третьим учредителем — Сергеем Тарасенко.

В статье одного канадского миллионера украинского происхождения говорится, что в начале существования компании бизнес всегда делится поровну, как правило, между хорошими друзьями, а потом из них выделяется лидер, который консолидирует контрольный пакет акций, ломает сложившийся порядок, и компания начинает развиваться. Мне тогда казалось, что подобная метаморфоза необязательна и возможен иной путь развития компании. Хотелось создать механизм абсолютной справедливости — кроме учредителей есть и сотрудники, которым тоже нужны деньги! Я ошибался.

В 1997 г. Андрей Асанов организовал новую компанию «Микро ЭМ(иландр)». Он посчитал, что поставка микросхем для военной промышленности бесперспективна и ставку надо делать на гражданскую продукцию. Как оказалось, он был прав лишь отчасти — действительно, следовало уделять больше внимания гражданской продукции, но ни в коем случае нельзя было отказываться от работы с военной промышленностью. Если бы он не ушел, мы были бы сильнее. К сожалению, тогда он погнался за сиюминутной выгодой, не захотев увидеть перспективу.

Когда он уходил, мы договорились, что он предложит уйти с ним лишь тем, кто работал в его группе, но он нарушил эту договоренность. С ним ушло пять сотрудников, а работало в ту пору в «Миландре» немногим более 25. Наше расставание вышло безрадостным. И тем не менее Андрей Асанов внес немало в развитие компании, а меня эта история многому научила. Мы не стали врагами и нормально общаемся, а в сегодняшнем «Микро ЭМ» я вижу много

МОТИВАЦИЯ

В 1998 г., когда дела шли не лучшим образом, одна из зарубежных компаний решила открыть свое представительство в Москве. Знакомые порекомендовали меня в качестве директора представительства. Я никогда не забуду то чувство унижения, которое испытал на собеседовании с представителем той компании. Со мной обращались пренебрежительно, как с человеком второго сорта. Тогда я решил, что сделаю все возможное, чтобы никогда впредь ни я, ни мои дети не оказались в положении просителя.

ЧТО ПОСЕЕШЬ, ТО И ПОЖНЕШЬ

У меня не раз происходили разрывы и ссоры с бывшими соучредителями, с теми, кого я считал своими друзьями или, по крайней мере, хорошими знакомыми. Часто это происходило из-за денег, из-за дележа активов. Я увидел, как деньги могут рвать отношения — они разлучают друзей и супругов, делают несчастными семьи, приводят к болезням близких и даже к смерти. В какой-то момент я даже стал бояться привлекать в бизнес своих знакомых. Я боялся разрывов отношений, конфликтов из-за денег, катастрофических последствий этих неурядиц. Я много переживал, размышлял об этом. Потом понял, что надо просто соблюдать те самые 10 христианских заповедей и больше ничего не требуется. Из какой-то книги взял на вооружение принцип «Измена жене — измена Родине» и стал привлекать на работу людей со схожим мировоззрением. Даже стал требовать от них хотя бы частичного соблюдения этих заповедей. Все оказалось просто — что посеешь, то и пожнешь сторицей!

ОБ ОБРАЗОВАНИИ

Когда учился в бизнес-школе, понял, что наша система образования предметно ориентирована, а ей надо быть объектно-ориентированной. Поясню на примере строителей. Студента в институте учат сопромату, свойствам бетона, рассказывают все о межэтажных перекрытиях, водопроводных трубах и т.д. Окончив институт, студент знает многое обо всех составляющих дома. Но когда ему надо построить дом из этих составляющих, он не может этого сделать — не знает, как сложить их друг с другом. Приходится его доучивать, рассказывать о том, для чего нужны знания, которые он приобрел в институте, и как их использовать. Мне было проще: узнав на лекциях в бизнес-школе что-то новое, я тут же применял знание в «Миландре». Но студенты лишены такой возможности, у них нет еще жизненного опыта.

О ДЕТЯХ

Сколько бы ни заработал человек, чего бы он ни добился, все это впустую, если у него нет взаимопонимания с детьми. Мы с женой уделяем много времени детям. У нас их трое. Я научил их тому, что умею сам, пытаюсь дать им что-то новое, что мне кажется важным: книги, языки, музыкальная школа, спорт. Был у нас и набор «Юный электрик»: мы сидели, заряжали-разряжали конденсаторы. Мы даже косим траву с сыном, когда приезжаем летом в Украину к моим родителям. Знание, умение и уважение к крестьянскому труду избавляет от страха умереть с голоду, укрепляет почву под ногами и дает силы творить.

того в системе отношений, что было в старом «Миландре».

В то предкризисное время в российской экономике одним из популярных финансовых инструментов были ГКО (государственные краткосрочные обязательства). Мы достаточно успешно с ними работали, т.к. госпредприятия тогда старались рассчитываться только ими. Поначалу все шло удачно, хотя счета предприятий оборонной промышленности замораживались в конце года, и вновь операции по ним можно было проводить лишь в феврал-марте следующего года. Но вот наступил 1998 г. Зимой того года мне предлагали выкупить активы за 50% стоимости (около 1 млн долл.), но я отказался. Как оказалось, зря — их заморозили, а позже, во время августовского кризиса, я смог получить лишь малую их часть.

Когда начался тот злополучный кризис 1998 г., нам пришлось заметно снизить зарплаты сотрудникам — примерно с 1 тыс.¹ до 200 долл. Сотрудники стали увольняться в поисках лучшей зарплаты. Другие начали организовывать свои фирмы совместно с некоторыми сотрудниками заводов потребителей. В то же время с нашего склада была похищена продукция на приличную сумму. Это было подобно шторму: корабль трясло, что-то ломалось и отваливалось, а штурвал надо было держать, перестраивать, нанимать новых сотрудников, устанавливать новые связи, удерживать всеми силами старые... Одно можно сказать, опираясь на факты: все, кто так себя повел, в итоге проиграли. Позже, в 2004 г., когда один из наших бывших сотрудников был серьезно болен, он попросил меня о встрече. Мы сидели в машине, и он оправдывался, пытался мне, а скорее всего, самому себе доказать, что по-другому нельзя было поступить. Грустное было зрелище — даже на пороге смерти людям очень трудно раскаться.

Надо было что-то предпринимать, чтобы пережить кризис, и мы решили попробовать свои силы в розничной торговле. Вскоре в этом направлении назрела схожая ситуация с той, которая привела к расколу «Миландра», но на этот раз я не стал повторять прежних ошибок. Я уже не ждал, что ситуация стабилизируется сама по себе, и уволил директора супермаркета. Такое жесткое решение оказалось самым верным. И хотя пришлось пережить неприятные моменты, положение выправилось.

Надо сказать, что печальный опыт с «Миландром» еще не раз пригож-

дался мне в жизни. Например, когда в инвестиционной компании, где нам принадлежали 75% акций, начались конфликты, я уже понимал, чем все это кончится, и забрал вложенные средства, не пытаясь спасти компанию. Тогда все обошлось для нас относительно благополучно.

В том же 1998 г. к нам на работу пришел Василий Игнатьевич Басс, бывший заместитель главного конструктора «Ангстрема», где он занимался разработкой радиационно-стойких микросхем. К тому времени у него была своя небольшая фирма, которая по заказу «Ангстрема» занималась разработкой. Но у «Ангстрема» прекратилось финансирование, и работы пришлось свернуть. Придя к нам, Басс предложил заняться проектированием заказных микросхем и оказывать фаундри-услуги.

Его предложение мне показалось тогда неразумным, и я отказался от него, но т.к. он отлично разбирался в электронике, я предложил ему заняться продажами. Работа с ним дала мне довольно много. Басс рассказывал о фабах, об особенностях фаундри, и в какой-то момент я понял, что нам стоит заняться разработкой и производством микросхем. Я предложил Бассу разработать микросхему АОН на базе популярного в то время процессорного ядра хх51. И тут начались сюрпризы. Не вдаваясь в подробности, скажу, что он не решился взяться за разработку. Производство опытной партии обошлось бы нам примерно в 50 тыс. долл.

Так или иначе, но пережив череду расколов, мы начали постепенно подниматься. Что-то оставалось на складе, какие-то деньги приносил супермаркет. И, конечно, меня очень выручило доброе отношение директоров предприятий, потреблявших нашу продукцию, и дружественные отношения с ОАО «НИИМЭ» и завод «Микрон» (Генеральный директор — Щербakov Николай Александрович), ОАО «Восход» (г. Калуга, Генеральный директор — Лейковский Константин Константинович). Я думаю, что благодаря этим директорам и Почивалову Юрию Степановичу, Генеральному директору ФГУП «Электроприбор» (г. Пенза), компания «Миландр» устояла. Потом мне пришлось отдавать им долги, но это было приятно.

Наладились продажи, у нас установились деловые связи и хорошие отношения с МО РФ и со многими другими компаниями, куда мы поставляли компоненты. Но в 2002 г. уже второй «Миландр» оказался на грани

раскола. Сотрудники, которым я доверял и делегировал ряд полномочий, стали воровать — переводили клиентов на домашние телефоны, довольно откровенно перестали выполнять мои распоряжения, если они им казались невыгодными. Некоторые из этих сотрудников были со мной с начала основания первого «Миландра», когда мне было 26 лет. Наверное, они не могли воспринимать меня в качестве начальника, владельца компании. Возможно, из-за этого и возникла такая ситуация.

Так или иначе, но в этот раз я не колебался — из 20 сотрудников я оставил только пятерых. Тогда же я принял окончательное решение — контрольный пакет акций будет у меня. Вторым компаньоном остался Строганов Александр Владимирович, который взял на себя управление финансами. Так и состоялось рождение третьего «Миландра». Это физически, а духовно «Миландр» с того времени (22 апреля 2002 г.) четко встал на позиции христианских заповедей, и сегодня для нас, в первую очередь, важны добродетели человека, а на втором месте — профессионализм.

ТРЕТИЙ «МИЛАНДР»

В 2002 г. Правительство РФ приняло постановление о развитии российской микроэлектроники. Начала восстанавливаться старая система инвестиций государства в НИР и ОКР, у частных компаний появилась возможность участвовать в выполнении этих заказов при условии создания соответствующей системы качества. Эти события заставили меня окончательно решиться на создание своего дизайн-центра. И я предложил Василию Игнатьевичу Бассу стать руководителем этого центра, получив 10% акций компании. Он согласился.

Мы поехали в МО РФ, заявили там о своих намерениях, получили поддержку. И вдруг на обратном пути, когда мы уже приехали в Зеленоград, Басс отказался, мотивировав отказ тем, что, дескать, «Ангстрем» в свое время с подобной задачей справлялся с трудом, несмотря на многомиллионные вложения и многочисленный штат инженеров, а значит, и мы не сможем.

После этого заявления наше дальнейшее сотрудничество показалось мне невозможным, и мы расстались с Василием Игнатьевичем. Он продолжил продавать микросхемы, а я стал спешно искать начальника дизайн-центра. Даже предлагал двухкомнатную квартиру кандидатам на эту

¹ Напомним, что перед кризисом 1998 г. зарплата в 1 тыс. долл. считалась весьма привлекательной и похвастать таким доходом могли очень немногие инженеры. *Прим. ред.*

должность. Наконец, я нашел, кого искал. Им оказался молодой кандидат наук Новоселов Алексей, который привел с собой еще двух инженеров. Так родился наш дизайн-центр. Сегодня Алексей Юрьевич — директор по маркетингу «Миландра», в его задачу входит продвижение на рынок продукции, разработанной нашим предприятием.

Постепенно мы получили все сертификаты на право разработки и производства ЭКБ для МО. Тем временем к нам приезжали из министерства и сертифицировали наши рабочие места. В МО РФ нас включили в список предприятий, которые могут разрабатывать электронику для нужд оборонной промышленности. С этого момента началось развитие «Миландра» как компании-разработчика и производителя микросхем. Благодаря тем, теперь уже далеким событиям 2002 г., началось формирование сегодняшнего «Миландра».

Накопленный опыт помог избежать кризисов, о которых я уже рассказал. И все же путь, по которому мы шли, отнюдь не был усыпан розами, всякое случалось. Невозможно в формате интервью поведать обо всем, но о некоторых событиях невозможно не рассказать, пусть и вкратце.

Первое из таких событий — приход в «Миландр» Михаила Какоулина, нынешнего руководителя нашего дизайн-центра. В свое время он проработал полтора года в Дрезденском дизайн-центре (Германия), а потом вернулся директором дизайн-центра на «Микрон». В начале 2003 г. он сказал мне, что хочет перейти на работу в стартап, во вновь организованный ДЦ компании «Миландр». В подобного рода обращении не было ничего странного — у нас в Зеленограде круг хороших специалистов довольно узок, да и все руководители неплохо знают друг друга.

Я понимал, что если возьму его, то наживу врагов в «Микроне», и несколько раз отказывал Михаилу. Но Михаил оказался очень настойчивым. После того как он сообщил, что уволился с предприятия, мне ничего не оставалось делать, как принять его на работу.

Формат интервью не позволяет во всех подробностях рассказать, какой прессинг я испытал. Не хочу упоминать и фамилии действующих лиц. Скажу лишь, что меня обвиняли во всех смертных грехах. Руководитель ОАО «НИИМЭ» и «Микрон» описывал «Миландр» как спрута, который опутал «Микрон» и высосал из него лучшие кадры.

Кончилось все довольно неожиданно — в 2004 г. мне предложили перейти в... «Микрон» на должность первого заместителя генерального директора по развитию. Я принял это предложение. Фактически это была жертва с моей стороны. Но она решила как минимум пару важных проблем: прекратилась травля «Миландра», и сохранился трехлетний договор с «Микроном» объемом почти в 1 млн долл. на разработку. Это было очень важно для нас, т.к. развитие требовало постоянных и непрерывных инвестиций в сотрудников, помещения и оборудование. Можно сказать, только в 2013 г. мы достигли того уровня дохода, который позволяет нам спокойно развиваться.

С другой стороны, своих продуктов у нас тогда еще не было, а дистрибуторский бизнес «Миландра» был уже достаточно налажен. Я проработал в «Микроне» девять месяцев и ушел оттуда практически одновременно с появлением нынешнего директора, Геннадия Николаевича Красникова. У меня с ним сохранились очень хорошие отношения, но работа в «Микроне» отнимала все силы, а мне уже было пора возвращаться в «Миландр».

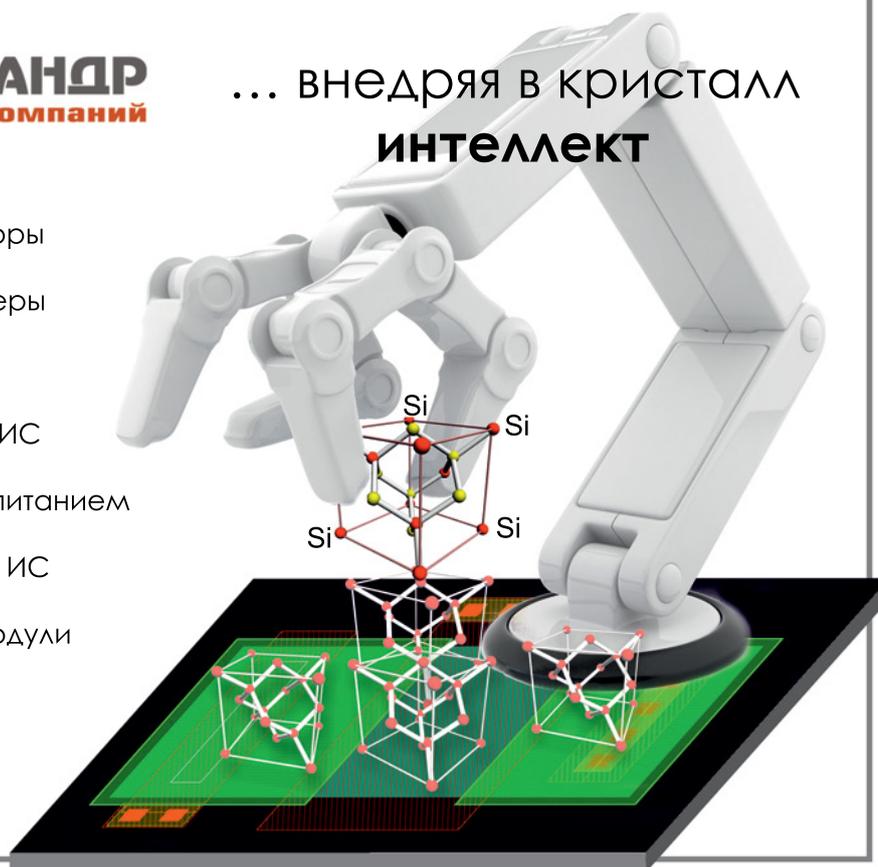
Второе событие, о котором хочется рассказать в двух словах, стала учеба в



... внедряя в кристалл ИНТЕЛЛЕКТ

- ▲ Микропроцессоры
- ▲ Микроконтроллеры
- ▲ ИС памяти
- ▲ Интерфейсные ИС
- ▲ ИС управления питанием
- ▲ Радиочастотные ИС
- ▲ Электронные модули

www.milandr.ru



бизнес-школе. Я поступил туда в 2002 г., когда почувствовал, что мне не хватает знаний. В то время туда попасть было не просто — конкурс при поступлении был примерно три человека на место. Когда я впервые вошел в аудиторию, у меня было такое ощущение, что достаточно зажечь спичку и все вспыхнет — такова была энергетика зала, состоявшего в основном из директоров компаний.

Учеба продолжалась два года. Причем, учился не только я. Заочно вместо со мной «окончила» бизнес-школу... моя жена. Когда я сказал ей, что хочу пойти учиться, она целиком поддержала меня, но когда оказалось, что три дня в неделю, в т.ч. в субботу меня практически не будет дома, моя учеба уже перестала казаться ей привлекательной идеей.

Мне пришлось схитрить — я записывал все лекции на диктофон и приносил ей прослушивать. Она увлеклась и смирилась с необходимостью моих поездок на лекции. Так вместе мы и проучились два года. Учеба дала мне очень много. Я узнавал немало нужных вещей, которые тут же применял на практике у себя в «Миландре». Впрочем, и для жены новые знания оказались нелишними, особенно учитывая ее медицинское образование и знание психологии. Сейчас она трудится в «Миландре» начальником отдела по работе с персоналом.

Так получилось, что в 2004 г. я не только окончил бизнес-школу, но и приобрел дополнительный практический опыт работы в «Микроне».

УСПЕХ

Одна из важных причин успеха, а я считаю «Миландр» успешной компанией, состояла в том, что рынок не отверг наши первые разработки. Хотя они были достаточно сырые, инженеры компаний, куда мы поставляли продукцию, возились с нашими микросхемами, сообщали об ошибках, а мы дорабатывали микросхемы. Я бесконечно благодарен этим людям и предприятиям за веру в успех, за доверие к нашим инженерам и продуктам. Особенно хочу отметить Виноградова Александра Андреевича, заместителя Главного конструктора ОАО «Импульс» (г. Санкт-Петербург). Именно инженеры этого предприятия помогли довести нам схемы памяти до необходимого уровня качества и начали массово их закупать. Если бы не доброе отношение этих людей, возможно, компания «Миландр» в ее нынешнем виде никогда не состоялась бы.

На мой взгляд, «Миландр» сейчас можно назвать практически идеальной командой. Во всяком случае, я

всегда мечтал о такой. У нас каждый делает свою работу. И я делаю свою часть работы. Я не боюсь уезжать в отпуск — знаю, что без меня ничего не развалится. Наверное, меня можно назвать не столько Генеральным директором, сколько играющим тренером. И сейчас я стараюсь принимать участие в беседах с сотрудниками. Мне нравится общаться с молодыми инженерами, студентами. Я стараюсь рассказать им о тех качествах характера, которые важны не только для работы, но и жизни.

Мы продолжаем развиваться. В настоящее время компания состоит из двух практически не связанных подразделений: «Миландр ЭК» занимается дистрибуцией, а «ПКК Миландр» — разработкой и производством микросхем. Всего в компании работают 240 сотрудников. Только в прошлом году пришли около 60 человек. Двое наших сотрудников уходят в бизнес-школу.

Недавно мы приобрели для производства помещения площадью 2000 кв.м. Оно находится в этом же здании (в бытность СССР оно принадлежало одному из крупнейших научных предприятий — НПО «ЭЛАС»). Ежегодно продажи наших микросхем увеличиваются. В этом году мы планируем продать около 120 тыс. микросхем. В нашей продуктовой линейке имеются микроконтроллеры, схемы памяти, аналого-цифровые преобразователи, интерфейсные схемы. Надеюсь, в 2018 г. мы сможем производить и продавать до 1 млн микросхем с приемкой «5».

Наша стратегия состоит в том, чтобы не увеличивать существенно штат сотрудников, но наращивать производительность за счет максимальной модернизации производства. Чтобы руководить компанией с большим количеством сотрудников, необходимо использовать более бюрократичные методы управления, что, в свою очередь, снижает эффективность труда.

Приведу пример. В 2006 г. в Зеленограде обосновалось представительство Freescale. Его руководство начало активно набирать сотрудников, предлагая заработные платы на 20% выше, чем платили мы. У нас наметился отток инженеров, но за несколько месяцев нам удалось поднять зарплату до их уровня, и отток прекратился. Теперь, общаясь с ушедшими инженерами, мы видим, что каждый из них делает не более одного серьезного проекта в год, в то время как в «Миландре» они успевали сделать в два-три раза больше.

Правда, и у нас сейчас темпы несколько снизились — мы тщатель-

нее прорабатываем каждое техническое решение, регулярно проводим семинары с начальниками отделов, на которых обсуждаем сделанное ранее и планируем работу на будущее. Возможно, со временем наша компания разрастется, но тогда, наверное, придется ее разделить. Пока же мы постоянно ищем что-то новое. В этом году мы приступили к разработке сигнального процессора. Для нас это — вершина развития: об этом в 2002 г. мы не смели и мечтать.

Сегодня мы уже не ограничиваемся микросхемами, но стремимся разрабатывать и производить модули и конечные изделия. Например, наш екатеринбургский филиал начал производство счетчиков электроэнергии на базе наших микроконтроллеров. Мы уже их сертифицировали, а теперь идет не менее сложный процесс вывода этих изделий на рынок. Демпинговать не будем, станем предлагать их по сложившейся на сегодняшний день цене. Когда разрабатывали для этих счетчиков специализированный микроконтроллер, не думали, что он найдет применение в других приложениях. Однако недавно к нам обратились из МО РФ — оказывается, им подошел наш микроконтроллер для каких-то своих целей.

Пытаемся мы выйти и на западные рынки, но там не хотят покупать наши микросхемы. Пока не хотят. Конечно, нам сложно конкурировать с мировыми лидерами, но поверьте, мы можем делать не хуже! В конце концов, идея рождается в голове одного человека. И я уверен, что рано или поздно наши микросхемы найдут свою нишу и на зарубежных рынках. Главное — не спешить, а оставить немного работы и для потомков. Сейчас подходит время, когда дети наших сотрудников готовы включиться в работу, — пусть учатся и развивают компанию.

А пока за границей находят место наши идеи: например, для одной израильской компании мы выполнили три проекта. Но больше не хотим работать в таком качестве, т.к. не имеем прав на свои разработки и не получаем роялти. Мы заявили им, что готовы продолжить сотрудничество лишь при равноправном партнерстве. Они взяли время на размышление, ищут на рынке новых партнеров, но, думаю, все равно вернутся к нам.

Наконец, я хотел бы выразить особую благодарность родителям: отцу, матери и, конечно, жене, которые всегда верили в меня и поддерживали мои начинания, вместе страдали, когда мне было тяжело.

Материал подготовил Леонид Чанов

ВЕСНА И «ЭКСПОЭЛЕКТРОНИКА»

Весна в Москве, как всегда, пришла с «ЭкспоЭлектроникой». 10—12 апреля 2013 г. в МВЦ «Крокус Экспо» с традиционным успехом прошел крупнейший в России и Восточной Европе Международный форум электронной промышленности «ЭкспоЭлектроника». В этом году экспозиция разместилась в трех выставочных залах, а ее площадь достигла 14500 кв. м.

По мнению экспертов, успех мероприятия определяется двумя основными факторами. Первый из них — значимость затрагиваемой тематики. Второе и главное условие — высокий профессиональный уровень организации. Накопленный за многие годы работы опыт, международные стандарты качества, постоянные прямые контакты с мировыми лидерами и ведущими профессионалами отрасли позволяют провести форум, который становится главным событием года в электронной промышленности.

Каждый раз «ЭкспоЭлектроника» достигает новых высот. В этом году форум, который проводился в 16-й раз, собрал более 440 участников. Почти треть из них — иностранные компании из 22 государств, в т.ч. Китая, Финляндии, Германии, Японии, Норвегии, Сингапура, Испании, Франции, Великобритании, США, Гонконга, Израиля, Швеции и др. Форум посетили более 18 тыс. специалистов из 67 субъектов РФ и 44 стран мира.

В рамках форума прошло около 79 тыс. перспективных встреч и переговоров. Результаты опроса свидетельствуют: 99% участников остались довольны количеством и качеством посетителей; 87% посетителей отметили широкое разнообразие представленных тем; 83% посетителей установили новые деловые контакты, примерно столько же — достигли договоренностей о дальнейшем сотрудничестве, а 77% планируют заключить договора на поставку товаров или услуг. 96% участников отметили высокий уровень организации выставки, и подавляющее большинство из них выразили намерение принять участие в форуме 2014 г.

Деловая программа «ЭкспоЭлектроники-2013» включала более 30 технических семинаров, презентаций новых продуктов, «российских премьер» мировых производителей и других мероприятий по наиболее перспективным направлениям развития электроники. Проведение этих встреч в рамках форума позволило компаниям-организаторам привлечь в 2—3 раза больше участников, чем обычно.

Участниками выставки были ведущие производители и поставщики электронных компонентов и приборов для стратегических отраслей промышленности. В числе дистрибьюторов ведущих миро-



вых производителей электронных компонентов в выставке приняли участие: «Авитон», «Аргуссофт», «Вест-Эл», «Витал Электроникс», «Витан», «Гамма Санкт-Петербург», «Компонента», «Золотой Шар», «Конкур Электрик», «Макро Групп», «МикроЭМ», «Мегалит Элком», «Радиянт Элком», «Радиотесткомплект», «Радиокомп», «Радиотех-трейд», «Реом», «Руичи», «СМП», «Чип Селект», «Экситон», «ЭКМ», «ЭКО», группа компаний «ЭКСПО», «Элемент» и другие компании.

С неизменным успехом в рамках форума прошла 11-я Международная специализированная выставка технологического оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности — «ЭлектронТехЭкспо». В этом году российские и зарубежные участники выставки представили рекордное количество оборудования, демонстрация которого в рабочем режиме проходила все три выставочных дня.

LEDTechExpo — 3-я Международная выставка светодиодных технологий, материалов, чипов и оборудования для их производства, объединила на своей площадке 63 участника из 9 стран мира. В выставке приняли участие лидеры светодиодной индустрии России, дистрибьюторы крупнейших международных компаний, производители и эксперты отрасли.

При поддержке НП «Производители светодиодов и систем на их основе» прошла 2-я Международная конференция «Светодиоды: чипы, продукция, материалы, оборудование», в работе которой приняли участие более 120 специалистов из разных стран мира.

Вопросам развития солнечной энергетики как инновационной отрасли экономики был посвящен круглый стол «Фотовольтаика: новый вектор развития электроники».

ЗАО «ПКК Миландр» выступило организатором семинара «Современные разработки для аппаратуры специального и двойного назначения». Специалисты рассказали о текущих и новых разработках компании. Аудиторию семинара составили свыше 180 инженеров, конструкторов и разработчиков более чем со 100 предприятий России и стран СНГ. Подобное широкое представительство также свидетельствовало в пользу эффективности проведения таких семинаров в рамках «ЭкспоЭлектроники».

Впервые в рамках выставки был проведен круглый стол «Образование и бизнес: высококвалифицированные кадры — наше будущее», где представители компаний-работодателей, рекрутинговых агентств, руководители профессиональных лицеев и колледжей обсуждали вопросы подготовки высококвалифицированных кадров для российских радиоэлектронных предприятий. Родилась идея проведения на «ЭкспоЭлектронике-2014» конкурса среди учащихся и молодых специалистов под названием «Битва двух столиц». И это далеко не единственная идея, которую предстоит осуществить. Организаторы уже приступили к реализации многих других планов 17-го Международного форума «ЭкспоЭлектроника», который пройдет в Москве 15—17 апреля 2014 г.

ALL4BOM — НОВЫЙ СЕРВИС ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Если с помощью фантастической машины времени советский инженер 1950–70-х гг. попадёт в наше время, он, наверное, решит, что оказался в раю для разработчиков — столько сервисов и инструментов предлагается в помощь проектировщику! Симуляторы с библиотеками, исходные проекты, оценочные платы, среды разработки, инструменты для выбора компонентов — всего не перечислить. И вот ещё один сервис. На сей раз — на более высоком иерархическом уровне: в новом проекте разработчику предлагается не только помощь в выборе компонентов, но и оптимизация всего их перечня, а также помощь в логистике. О новом проекте рассказывает один из его создателей, технический директор eFind.ru, Алексей Славгородский.



— Как родилась идея создать компанию ALL4BOM? Она как-то связана с eFind.ru?

— В 2012 г. команда eFind.ru познакомилась со Львом Шапиро¹, известным специалистом по применению электронных компонентов. В процессе общения возникла идея создать ряд сервисов, отсутствующих на рынке и требующих глубоких знаний по широкому диапазону различных зарубежных компонентов, а также опыта их правильного применения при разработке электронных изделий. Так возник совместный проект — компания ALL4BOM.

Для eFind.ru проект ALL4BOM — это, во-первых, возможность начать развитие в ранее неизведанной для нас области, а именно — в области оказания консультационных услуг разработчикам электроники. Во-вторых, это способ выхода на мировой рынок, т.к. проект ALL4BOM создаётся как международный.

— На каких потребителей ориентирована компания ALL4BOM?

— Цель проекта ALL4BOM — организовать сервис, помогающий на всех этапах создания электронного устройства, начиная со стадии проектирования и дизайна и заканчивая производством конечного изделия. Его потенциальными пользователями являются не только технические специалисты и разработчики, но и менеджеры по снабжению. Техническим специалистам будут ближе услуги по оптимизации перечня компонентов (BOM Optimization) и подбору аналогов (Second Source). Снабженцам — система тендеров и услуга «Безопасная сделка» (Escrow service). Поставщики ком-

понентов смогут разместить на сайте ALL4BOM свои прайс-листы.

Само название ALL4BOM, т.е. «всё для BOM», содержит в себе идею проекта. Термин BOM (bill of materials) часто применяется для обозначения списка компонентов, которые используются для изготовления конечного устройства.

— Вы предлагаете подбор компонентов по техническим параметрам. Предложение распространяется на все компоненты или есть какие-то ограничения? Распространяется ли этот сервис, например, на выбор измерительного и испытательного оборудования?

— Предлагаемый подбор компонентов по их техническим параметрам предназначен, в основном, для разработчиков. Эта услуга существенно сэкономит время, затрачиваемое на поиск в каталогах изготовителей необходимого компонента и определение его наименования (партиномер) для заказа.

Как правило, такая потребность возникает в процессе дизайна, и она особенно актуальна для стандартных компонентов, таких как конденсаторы, резисторы, индукторы, разъёмы, диоды, транзисторы, простейшие интегральные схемы и т.д. Заказчик этой услуги определяет основные параметры компонента в зависимости от его типа и получает один или несколько компонентов, соответствующих этим параметрам, с партиномером и спецификацией изготовителя. Этот сервис касается электронных компонентов и не имеет никакого отношения к выбору измерительного или тестового оборудования.

— Услуга по подбору компонентов по техническим параметрам требует серьёзных профессиональных знаний. У вас есть в штате такие специалисты? Для оказания подобной услуги необходимо очень хорошо знать рынок. Тот же вопрос и по выбору аналогов компонентов, и по оптимизации их перечня.

— Мы искренне надеемся, что имеющийся 25-летний опыт работы с подобными заданиями от различных заказчиков и с широким кругом зарубежных компонентов позволит выполнять данную работу профессионально и в приемлемые для заказчиков сроки.

— Чем сервисы ALL4BOM по подбору компонентов, их аналогов и оптимизации перечня отличаются от аналогичных сервисов, которые предлагаются официальными дистрибьюторами? Не секрет, что подбор необходимых компонентов может бесплатно выполнить и дистрибьютор.

— Во-первых, дистрибьютор — заинтересованное лицо, в то время как компания ALL4BOM не продаёт каких-либо компонентов и не заинтересована в продвижении продукции того или иного производителя. Во-вторых, оптимизация перечня компонентов является высококвалифицированной инженерной работой, охватывающей многочисленные типы различных ЭК, а не только тех, которые имеются у конкретного изготовителя или у его дистрибьютора. Поэтому мы уверены, что с помощью ALL4BOM можно получить гораздо более качественную услугу.

— Если вы ошиблись в выборе компонента, оптимизации перечня

¹ Лев Шапиро неоднократно участвовал в конференциях, проводимых медиагруппой «Электроника». В наших печатных изданиях и интернет-порталах мы предоставим ему колонку, в которой Лев ответит на все вопросы, касающиеся выбора компонентов.

компонентов, какую ответственность компания понесёт перед потребителем?

— Все услуги ALL4BOM имеют информационный характер и являются нашими рекомендациями заказчикам. Каждый заказчик может рассмотреть наши предложения, доводы и конкретные рекомендации, а затем на их основании принять окончательное решение. Мы помогаем разработчикам в поиске заменителей выбранных компонентов и в оптимизации их перечня для снижения стоимости изделия и повышения эффективности его производства, но последнее слово и ответственность остаются за разработчиком.

— Услуга «Безопасная сделка» предполагает и то, что поставка компонентов может не осуществиться или они могут оказаться низкого качества из-за недобросовестности поставщика. Вы будете работать и с такими компаниями?

— Недобросовестными могут быть не только поставщики, но и покупатели... Услуга «Безопасная сделка» предназначена, в первую очередь, для преодоления естественного недоверия при контакте продавца с покупателем, которые прежде никогда не работали друг с другом. Покупатель хочет иметь гарантию на получение компонентов надлежащего качества, а продавец — гарантию на оплату сделки. В отсутствие этих гарантий участники сделки вынуждены либо рисковать, либо изучать отзывы о потенциальном контрагенте, которые не всегда бывают объективными.

Одно из решений проблемы недоверия — привлечение третьей стороны, которой доверяют и продавец, и покупатель, и которая является гарантом сделки. В этом случае деньги от покупателя поступают третьей стороне, а продавец их получает только после того, как покупатель подтвердил получение компонентов надлежащего качества.

Недобросовестность же какой-то компании может быть определена только опытным путем. Наш опыт показывает, что нарекания могут быть к любому поставщику или покупателю. Но если число жалоб превысит некоторую критическую отметку, ALL4BOM прекратит сотрудничество с такой компанией. Аналогичный подход применяется и на eFind.ru, из участия в котором уже не одна компания была исключена на основе обоснованных жалоб клиентов.

— Гарантируете ли вы, что при поставке не будет контрафактных компонентов?

— Компания ALL4BOM не поставяет компоненты, поэтому приобретение контрафакта не имеет никакого отно-

шения к деятельности нашей компании и её услугам. В то же время, мы знакомы с этой актуальной и серьёзной проблемой, когда по официальной статистике, около 10% всех электронных компонентов на мировом рынке являются контрафактными. Мы можем поделиться своим опытом и помочь заказчикам конкретными рекомендациями по снижению рисков приобретения контрафакта, правильной логистике, функционированию отделов входного контроля компонентов и т.д. Однако вопрос о гарантиях является нерелевантным и это вполне очевидно на следующем наглядном примере. Врач даёт своему пациенту советы о том, какие меры предосторожности предпринять, чтобы не заболеть гриппом во время эпидемии. При этом врач не может гарантировать, что это никогда не произойдёт, и уж, тем более, не может нести какой-либо ответственности за это.

— Вы регулярно проводите анализ рынка, ориентируясь на поисковые запросы eFind. Насколько достоверен подобный анализ? Крупные партии компонентов производители, как правило, закупают либо напрямую у дистрибьютора, либо у вендора, минуя поисковую систему eFind.ru.

— В первую очередь, наш анализ показывает интерес аудиторией к тому или иному компоненту. Даже если бы все потребители компонентов всегда искали поставщиков через eFind.ru, то и заказ на тысячу рублей и на миллион рублей были бы одинаковыми строчками в нашей статистике поисков. В то же время наша статистика позволяет оценить тенденции спроса (например, какой-то компонент стали запрашивать чаще или реже), сравнить количество запросов по нескольким аналогичным продуктам. Данные можно группировать по типам компонентов, по производителям, делать срезы по различным регионам и т.д.

Проблема достоверности есть, но она связана, в основном, с правильной ассоциацией того или иного поискового запроса с определённым компонентом. Это, в первую очередь, проблема актуальности и полноты нашей базы партномеров, которую мы постоянно дорабатываем и пополняем.

— Вы помогаете потребителю с выбором компонентов, помогаете их приобрести. Осталось организовать собственный, пусть и небольшой, склад с наиболее востребованными компонентами и... стать дистрибьюторами. Никогда не думали о такой возможности?

— Нас регулярно спрашивают об этом, но это не наш бизнес. Совмещение поставок компонентов и предостав-

ления поиска по складам непременно приведет к ситуации, когда нас как поисковую систему начнут подозревать в предоставлении каких-то преимуществ нам в качестве продавцов компонентов. В ущерб прочим участникам поиска, естественно. Поэтому мы не планируем заниматься поставками компонентов, чтобы не стать конкурентами своим клиентам.

— Есть ли у вас план развития на ближайшие 2–3 года? Какой вы видите компанию через это время? Вы планируете предлагать новые сервисы?

— Проект ALL4BOM только начал свою работу, поэтому в ближайшее время мы собираемся наращивать базу клиентов и оттачивать работу уже заявленных сервисов. Мы ожидаем, что через три года наш проект по спектру и качеству предоставляемых услуг будет составлять конкуренцию таким международным площадкам как Findchips.com, Brokerforum и др. Сейчас мы предлагаем услуги компаниям и пользователям из России и Израиля, но в ближайшее время собираемся выйти и на рынки Европы, Японии и США. Кроме того, мы собираемся продолжить нашу издательскую деятельность, которая началась выпуском «Путеводителя по электронным компонентам». В настоящее время готовится к выпуску второе издание «Путеводителя», которое будет содержать значительно больше полезной информации как для разработчиков, так и для снабженцев. В частности, мы хотим добавить разделы про печатные платы, светотехнику, переключатели. Раздел про разъёмы существенно расширится, будут затронуты вопросы управления закупками. Мы также не исключаем, что в следующем издании появится раздел, посвященный отечественным электронным компонентам.

— Вы занимались распространением «Путеводителя по электронным компонентам» на весенних выставках («ЭкспоЭлектроника», «Новая электроника России»). А где могут получить его те, кто не смог подойти к вам на стенд?

— Желающие получить экземпляр «Путеводителя» могут купить его в интернет-магазине books.ru или обратиться к нам, воспользовавшись следующей контактной информацией:

— веб-сайт: www.all4bom.com
— эл. почта: info@all4bom.com
— тел.: +7 (812) 334-85-22.

Мы также будем рады ответить на вопросы, подробнее рассказать о своем проекте и выслушать отзывы о предлагаемых сервисах.

Материал подготовил Леонид Чанов

СПЕЦИФИКАЦИИ (DATA SHEETS) ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПОНЕНТОВ

ЛЕВ ШАПИРО, руководитель ALL4BOM

При выборе электронного компонента очень важно тщательно ознакомиться с его технической спецификацией (Data Sheet) и правильно понять указанные в ней параметры.

От редакции. Лев Шапиро сотрудничает с нашим журналом на протяжении многих лет. За это время он написал немало интересных статей на тему применения электронных компонентов, неоднократно участвовал в семинарах, конференциях и других мероприятиях ИД «Электроника».

В ближайшее время мы планируем создать колонку «Задайте вопрос Льву Шапиро» на сайте www.elcomdesign.ru и в журнале «Электронные компоненты», где Лев будет отвечать на вопросы читателей.

Существует несколько способов определения технических параметров изготовителем.

1. *Параметры с указанием их минимальных и максимальных значений.* Для таких параметров и установления их граничных значений изготовитель компонентов проводит в процессе квалификации многочисленные тесты и гарантирует полное соответствие компонента спецификации в указанном диапазоне.
2. *Параметры, имеющие только типовые значения.* Эти параметры имеют статистический характер, и изготовитель компонентов не гарантирует их возможный диапазон отклонений в процессе массового производства.
3. *Параметры, устанавливаемые лишь на основании расчётов и приводимые в спецификации в качестве справочной информации (reference information).*

Правильный дизайн изделия должен быть выполнен с обязательным учётом крайних значений (worst cases) для всех критических параметров каждого компонента. В случаях, когда такие параметры имеют в спецификациях только типовые значения или приведены для справки, за дополнительной информацией необходимо обращаться к изготовителю.

Следует заметить, что параметры компонента гарантируются изготовителем только для рекомендуемых условий функционирования, а не для максимально допустимых значений, при которых изготовитель лишь гарантирует, что компонент не выйдет из строя. При «возвращении» компонента в рекомендуемые условия эксплуатации его параметры должны

соответствовать указанным в спецификации.

Отметим разъяснение, которое, как правило, приводится профессиональным изготовителем в документации: «Длительное функционирование компонента в условиях Absolute Maximum Ratings может отрицательно повлиять на его надёжность».

Как правило, все основные параметры компонента приводятся в спецификации для комнатной температуры 25°C (room temperature). Поскольку большинство электрических параметров зависит от температуры окружающей среды, необходимо обязательно их определять для всего диапазона допустимых температур. Это осуществляется либо с использованием значений параметра для всего диапазона, которые также иногда приводятся в спецификациях, либо с помощью дополнительных расчётов на основе заявленных температурных коэффициентов (например, mV/°C, ppm/°C и т.д.). Особую бдительность необходимо проявлять к параметру допустимого тока и его зависимости от температуры для электромеханических компонентов (разъёмов, переключателей и т.д.), т.к. некоторые изготовители этих компонентов «забывают» указать в спецификациях температуру, для которой приведен параметр максимально допустимого тока, а также характер его снижения в зависимости от окружающей температуры (derating).

Весьма актуальным при выборе компонента и его включении в разрабатываемое изделие является статус спецификации компонента. Возможны следующие статусы.

1. **Advanced Information** (for information purposes only), т.е. предлагается

только информация о разрабатываемом компоненте. Данный статус означает, что компонент ещё не выпускается, т.к. находится лишь на стадии разработки изготовителем, о чём тот сообщает заранее потенциальным заказчикам.

2. **Preliminary** — предварительный статус. Данный статус определяет, что разработка компонента завершена и подготовлено его серийное изготовление. Однако спецификация имеет предварительный характер, т.к. изготовитель не может гарантировать указанные в ней параметры без подтверждения их серийным производством с приемлемым для изготовителя выходом годных компонентов. Для статистической обработки и подтверждения всех заявленных в спецификации параметров перед продажей компонента заказчику необходимо его изготовление в больших количествах, что требует серьёзных финансовых затрат. Разумеется, что изготовитель заинтересован в сокращении этих затрат за счёт участия заказчиков, приобретающих выпускаемые «опытные» компоненты. При этом изготовитель не афиширует (а заказчику крайне важно знать) тот неприятный факт, что параметры компонента, указанные в спецификации со статусом “Preliminary”, не гарантируются изготовителем.
3. **Finally released for mass production**, т.е. компоненты, разрешённые к серийному производству и продаже с гарантированными спецификациями. После изготовления компонента в достаточных количествах для подтверждения производством приемлемого выхода годных компонентов изготовитель корректи-

рует спецификацию, заменяя статус Preliminary на Final Release.

С этого момента производитель гарантирует полное соответствие компонента его спецификации, и только такие компоненты рекомендованы для использования в изделиях электроники.

4. **Not Recommended for New Design (NRND)**, т.е. компоненты, не рекомендованные для использования в разрабатываемых изделиях. По истечении определённого срока производства компонента в связи с переходом на новые и более прогрессивные технологии или из-за существенного снижения спроса изготовитель присваивает спецификации компонента статус NRND. Это значит, что изготовитель ограничивает выпуск данного компонента, не

будучи заинтересованным в новых проектах и стараясь поддерживать лишь существующих заказчиков в течение ограниченного периода времени. Такой статус является серьёзным сигналом о том, что в скором времени производство данного компонента прекратится.

5. **Obsolete, End of Life, Discontinued**, т.е. компоненты, производство которых уже прекращено, или в отношении которых изготовитель официально указал предстоящую дату прекращения производства. В последнем случае изготовитель компонента выпускает специальный документ PCN (Product Change Notification) с указанием двух дат: LTB (Last Time Buy) — конечная дата для заказа компонента, снятого с производства, и LTS (Last Time

Ship) — дата, до которой могут быть поставлены компоненты, заказанные в рамках LTB.

Разумеется, что такие компоненты не могут включаться в разрабатываемые проекты, а уже находящиеся в производстве электронные изделия нуждаются в срочном поиске аналогов от других изготовителей (если производитель не предложил замены), или в поиске функционально альтернативного компонента, как правило, требующего переработки изделия (redesign).

По всем вопросам, касающимся правильного выбора электронных компонентов или технической поддержки, обращайтесь по электронной почте info@all4bom.com или заходите на сайт www.all4bom.com.

ИНЖЕНЕР — ИНЖЕНЕРУ

НАМЕРЕННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ АУДИОСИГНАЛА | Намеренное увеличение нелинейных искажений аудиосигнала. Рассмотрим метод увеличения средней мощности выходного сигнала для повышения качества звучания.

В аудио- и видеосистемах в выходной сигнал часто вносятся дополнительные нелинейные искажения. На первый взгляд, этот прием выглядит неразумным, однако именно таким способом добиваются увеличения средней выходной мощности и ограничения пиков.

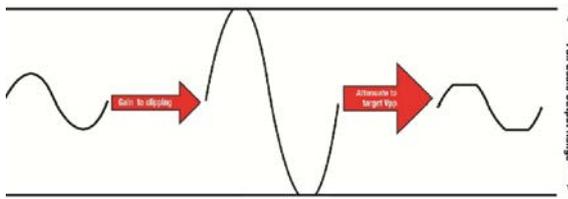


Рис. 1. При обрезании амплитуды сигнала искажения увеличиваются. При уменьшении выходного сигнала средняя мощность при заданном размахе напряжения увеличивается

В цифровых системах искажения сигнала проявляются как насыщение цифровой выборки. То есть при чрезмерном усилении старший значащий разряд (СЗР) превосходит максимально возможное значение. Например, если 24-разрядная выборка имеет значение 0x900000, то при усилении сигнала на 12 дБ происходит переполнение, и старший бит оцифрованного звукового сигнала теряется (см. рис. 1). Задача заключается в том, чтобы произвести обратное понижающее преобразование и получить требуемый аудиосигнал.

Во многих аудиопроцессорах максимальное значение выборки меньше полного размаха звукового сигнала. Например, в процессорах TI используется формат 9.23 (см. рис. 2).

К цифровой выборке с обоих концов добавляются биты. Со стороны младшего разряда — для сохранения информации при ослаблении сигнала, а старшие 9 разрядов используются для защиты аудиосигнала от непредвиденного ограничения.

При ограничении амплитуды возникают амплитудные потери в выходном сигнале. При обрезании сигнала на 10% потери на выходе составят примерно –1 дБ.

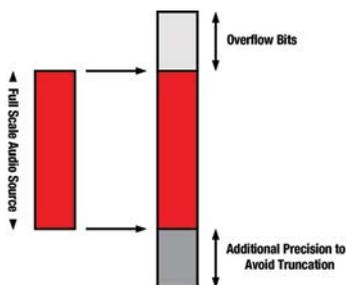


Рис. 2. Отображение стандартной 16- или 24-разрядной выборки в 32- или 48-разрядной памяти

Пример

Рассмотрим пример. Пусть требуется увеличить коэффициент искажений (THD) на 10%. Мощность выходного сигнала –12 дБ, среднее значение входного сигнала равно –10 dBFS (каждый разряд соответствует уровню –10 дБ). Формат данных: 9.23.

Сигнал необходимо усилить до полной шкалы плюс 9 добавочных битов. Соответственно, в функции усиления к исходному источнику добавляем 10 дБ, чтобы получить значение полной шкалы и еще 27 дБ — для добавочных битов. Последняя добавка 3 дБ предназначена для среза амплитуды. Всего добавляются 40 дБ.

Для получения выходного сигнала –12 дБ его следует ослабить на 39 дБ. Искажение полученного сигнала составляют 10%. При увеличении искажений увеличивается средняя мощность, и в то же время упрощаются требования к источнику питания и колонкам.

Приведенная методика позволяет за счет уменьшения достоверности аудиосигнала увеличить его среднюю выходную мощность. Прежде это достигалось путем установки коэффициента усиления системы больше, чем может позволить источник питания.

Хотя рассмотренная методика не подходит для высокопроизводительных систем с высоким качеством звука, она является достаточно распространенной в дешевых аудиосистемах, когда потребители оценивают качество системы по средней мощности, а не по точности и чистоте звучания.

www.elcomdesign.ru

ВЫБОР КОНДЕНСАТОРА ФИЛЬТРА ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ СО СТАБИЛИЗАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

СТИВ ВИЭ (STEVE WEIR), консультант, X2Y Attenuators

Несмотря на то, что многие поставщики стабилизаторов напряжения рекомендуют использовать конденсаторы фильтров для своих устройств, их советы часто оказываются неясными и не учитывают воздействия больших цепей для разводки электропитания на характеристики модуля управления напряжением.

ЦЕПИ КОНДЕНСАТОРОВ ФИЛЬТРА

На рисунке 1 представлена принципиальная схема разводки электропитания.

Слева направо в ней расположены: силовой каскад импульсного источника питания, с выхода которого напряжение поступает на вход модуля управления напряжением (Voltage Regulation Module, VRM), цепочки байпасных и сглаживающих конденсаторов, паразитные индуктивности проводников и, наконец, нагрузка ИС, которая может состоять из собственных внутренних конденсаторов.

Оптимизация фильтра в цепи разводки питания заключается в:

- приобретении только тех конденсаторов, которые требуются для обеспечения ВЧ-режима;
- приобретении только тех конденсаторов, которые требуются для НЧ-режима;
- использовании схемы коррекции частотной характеристики для обеспечения устойчивого функционирования.

При разводке питания цепи можно разделить на сильно и слабо связанные в эффективном диапазоне частот со

сглаживающими конденсаторами, установленными около модуля VRM. Для большинства линейных регуляторов граничная частота составляет менее 1 МГц. В большинстве схем разводки питания линейные стабилизаторы сильно связаны, т.е. импеданс соединений в этих схемах мал по сравнению с импедансом конденсаторов, установленных для подавления высокочастотной составляющей.

В таких схемах распределенная емкость байпасных конденсаторов является нагрузкой модуля VRM. Распределенные ВЧ-конденсаторы создают емкость, которая исключает необходимость в сглаживающих конденсаторах.

В силу того, что в ВЧ-режиме распределенной схемы управления питанием ограничено число и величина большинства конденсаторов, сначала рассматривается ВЧ-схема фильтра в модуле управления напряжением, после чего ее параметры подстраиваются под требования этого модуля.

Основу всех модулей VRM составляют системы управления с обратной связью. Схема распределения питания и ИС стоят в нагрузке выходного усилителя, влияя

на передаточную функцию замкнутой системы. В первую очередь, необходимо реализовать устойчивую характеристику с учетом байпасных ВЧ-конденсаторов и любой большой внутренней емкости ИС. К сожалению, на практике в большинстве технических описаний линейных стабилизаторов и указаний по применению не указываются численные значения параметров конденсаторов фильтра. В одних случаях поставщики довольно-таки расплывчато рекомендуют использовать такие стандартные типы компонентов как танталовые или алюминиевые электролитические конденсаторы. В других случаях в технической документации производителей заявлено лишь то, что их изделия допускают подключение многослойных керамических конденсаторов (МКК) с малым эквивалентным сопротивлением (ESR). Следующая методика проектирования обходит эту неопределенность, устанавливая характеристики модуля управления с помощью схемы симуляции.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Устанавливаем в схему распределения электропитания нагрузочный конденсатор C_{PDN} как емкость,

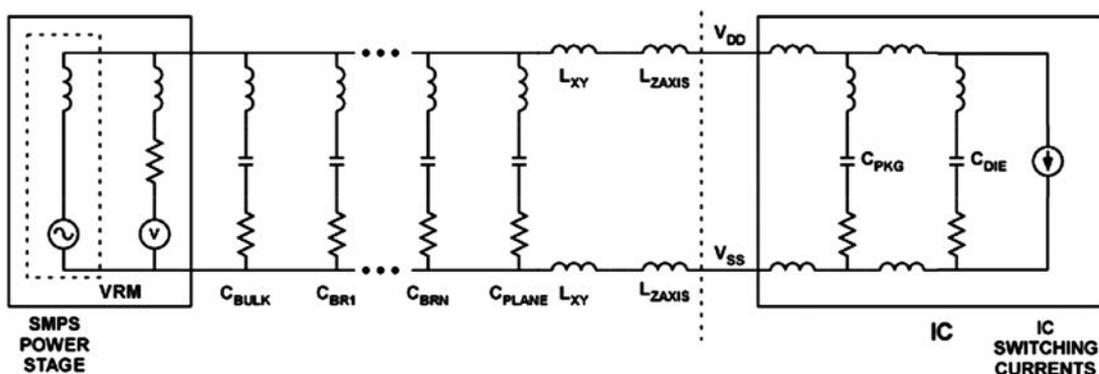


Рис. 1. Типовая модель распределенной системы электропитания

SMPS Power Stage — импульсный источник питания; VRM — модуль управления напряжением; Generic PCB PDN Model — типовая схема разводки электропитания; IC switching currents — токи переключения ИС

эквивалентную параллельно включенным ВЧ-конденсаторам, а также внутренней емкости ИС.

2. Определяем начальную емкость сглаживающего конденсатора фильтра $C_{BULK_INITIAL}$ как разность между сглаживающей емкостью, рекомендуемой производителем модулей VRM, и C_{PDN} .
3. Выбираем многослойный керамический конденсатор или группу параллельно установленных МКК, суммарная емкость которых равна или превышает $C_{BULK_INITIAL}$.
4. Выполняем моделирование переходных процессов, нагружая модуль VRM схемой распределения питания, которая устанавливается параллельно $C_{BULK_INITIAL}$.
5. Если при моделировании переходных процессов затухающие колебания занимают менее 1,5 циклов, работа схемы считается устойчивой. В случае если стоимость многослойного керамического конденсатора с емкостью $C_{BULK_INITIAL}$ высока, выбираем менее дорогостоящий электролитический конденсатор и проводим повторное моделирование. В противном случае останавливаем свой выбор на МКК. Если при моделировании переходных процессов затухающие колебания занимают более 1,5 циклов, необ-

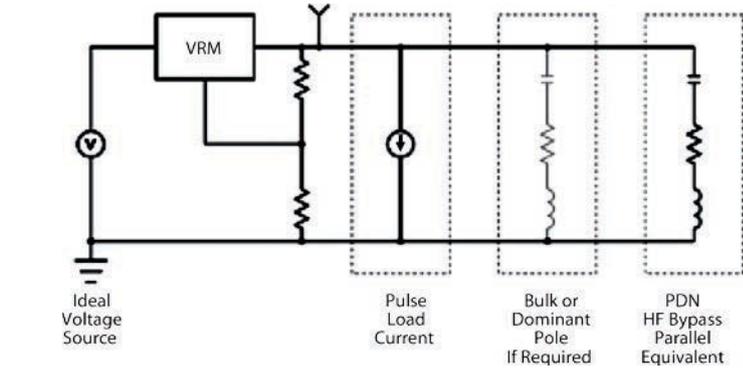


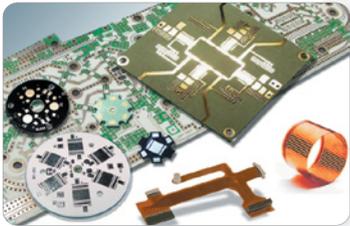
Рис. 2. Схема моделирования переходных процессов для модуля управления напряжением

Ideal Voltage Source — идеальный источник напряжения; **VRM** — модуль управления напряжением; **Pulse Load Current** — ток импульсной нагрузки; **Bulk or Dominant Pole if required** — сглаживающий конденсатор или доминантный полюс, если требуется; **PDN** — схема распределения питания; **HF Bypass** — байпасные ВЧ-конденсаторы; **Parallel** — параллельный; **Equivalent** — эквивалентный

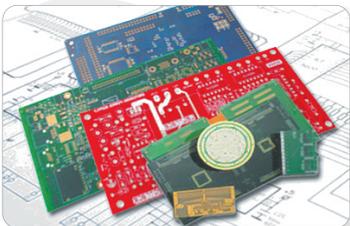
ходимо использовать доминантный полюс с ESR. Далее следует определить его величину и выбрать значение сглаживающего конденсатора фильтра.

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ СХЕМЫ С ДОМИНАНТНЫМ ПОЛЮСОМ

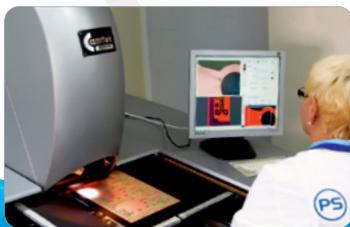
1. Заменяем емкость $C_{BULK_INITIAL}$ идеальным конденсатором C_{DP} и идеальным последовательным сопротивлением RDP.
2. Присваиваем C_{DP} наименьшее значение E3, которое превышает $2C_{PDN}$.
3. Принимаем R_{DP} равным 1 мОм.
4. В диалоговом режиме проводим моделирование переходных процессов, пошагово увеличивая значение R_{DP} в 1,4 раза, пока продолжительность затухающих колебаний не станет
5. Выбираем подходящий конденсатор с минимальным ESR в диапазоне $1-4R_{DP}$. В качестве альтернативного варианта можно параллельно МКК установить дискретный резистор с теми же значениями сопротивления.
6. Выполняем симуляцию готовой схемы.



на алюминии
на фторопласте
на керамике
на полиимиде
на стеклотекстолите



прототипы печатных плат
суперсрочное изготовление
серийное производство
комплектация
SMT и DIP монтаж
монтаж BGA



Специализированный завод печатных плат
«Электроконнект»

www.pselectro.ru



СРОЧНЫЕ ПЛАТЫ Любая партия от 2-х дней!



Москва Санкт-Петербург Ростов-на-Дону Пермь Екатеринбург Новосибирск
(495) 787-65-01 (812) 640-50-98 (863) 210-21-81 (342) 299-99-71 (343) 235-01-26 (383) 336-10-01

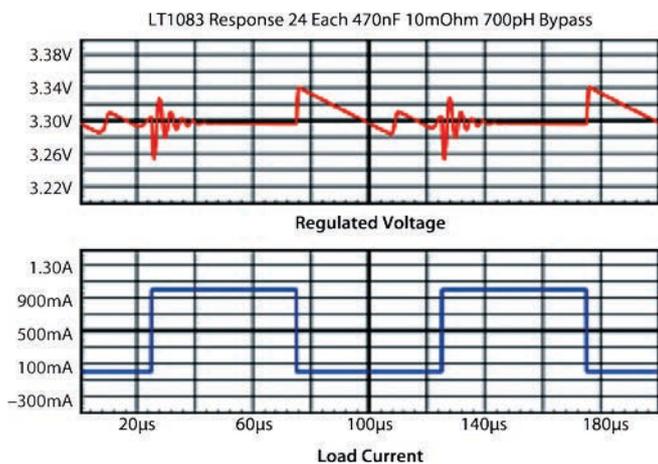


Рис. 3. Переходная характеристика схемы распределения питанием

LT1083 Response — характеристика LT1083; 24 Each 470nF 10mOhm 700pH Bypass — 24 параллельных байпасных конденсатора 470 нФ/10 мОм/700 пГн; Regulated Voltage — регулируемое напряжение; Load Current — ток нагрузки

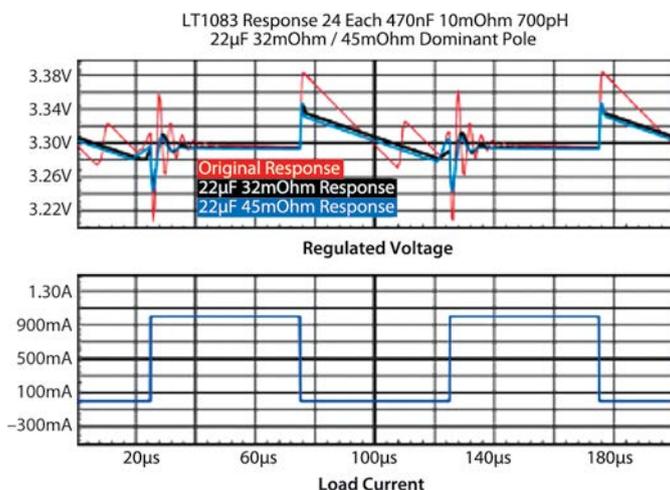


Рис. 4. Сбалансированная характеристика

LT1083 Response — характеристика LT1083; 24 Each 470nF 10mOhm 700pH Bypass — 24 параллельных байпасных конденсатора: 470 нФ/10 мОм/700 пГн; 22μF 32mOhm/45mOhm Dominant Pole — доминантный полюс: 22 мкФ, 32/45 мОм; Original Response — исходная характеристика; 22μF 32mOhm Response — характеристика схемы 22 мкФ/32 мОм; 22μF 45mOhm Response — характеристика схемы 22 мкФ/45 мОм; Regulated Voltage — регулируемое напряжение; Load Current — ток нагрузки

СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Моделирование переходных процессов можно осуществить с помощью программ SPICE, в т.ч. бесплатной версии LT SPICE от Linear Technology или WebBench от TI/National.

Схема моделирования позволяет оценить устойчивость переходного процесса в условиях нагрузки. При этом питание модуля VRM осуществляется от идеального источника напряжения (см. рис. 2). Источник импульсного тока используется в качестве нагрузки VRM. Ширина импульсов должна примерно соответствовать характеристикам, указанным в техническом описании от производителя. Однако практически во всех случаях можно использовать импульсы шириной 50 мкс, следующие с частотой 100 мкс. Время нарастания и спада импульсов не должно превышать $1/(10F_{0dB})$,

где F_{0dB} — точка 0 дБ у характеристики модуля VRM с нагрузкой или кривой зависимости от изменения линейного напряжения VRM, если в техническом описании не указана нагрузочная характеристика. Как правило, 100 нс достаточно для всех линейных стабилизаторов кроме тех, которые работают на самых высоких частотах.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

В качестве примера рассмотрим стабилизатор LT1083 на 3,3 В от Linear Technology с тремя выводами. Для коррекции частотной характеристики производитель рекомендует использовать конденсатор емкостью 1 мкФ, а для сглаживания пульсаций — произвольный танталовый конденсатор емкостью 10 мкФ. Танталовые конденсаторы емкостью 10 мкФ и ESR, равным 25 мОм...10 Ом, широко представлены на рынке. Недостаточно большое

значение эквивалентного последовательного сопротивления приводит к появлению низкочастотного «звона» и увеличению времени протекания переходных процессов. Избыточно высокое значение ESR увеличивает размах колебаний напряжения.

В рассматриваемом примере ВЧ-схема распределения электропитания представлена 24 многослойными керамическими конденсаторами 0402 X5R на 470 нФ и соответствующими индуктивностями, подключенными к шине питания. Суммарная емкость C_{PDN} 24 конденсаторов на 470 нФ каждый превышает значение 10 мкФ, рекомендуемое производителем. Начнем проектирование, не используя сглаживающего конденсатора. Переходная характеристика такой схемы имеет значительный шум (см. рис. 3), для устранения которого следует воспользоваться схемой компенсации с доминантным полюсом.

Выберем сначала такую емкость конденсатора E3, которая, по меньшей мере, в два раза превышает емкость схемы распределения питания. В данном случае это 22 мкФ. Далее начнем пошагово выполнять симуляцию, изменяя значения ESR до тех пор, пока шум существенно не уменьшится. Оказалось, что 32 мОм — минимально приемлемое значение ESR. Как видно из рисунка 4, на сбалансированной характеристике пиковые отклонения сокращены приблизительно на 50%.

Итак, схему компенсации с доминантным полюсом можно реализовать следующими способами.

1. Параллельно толстопленочному резистору на 35 мОм установить МКК на 22 мкФ. **Стоимость схемы: 0,20 долл.**
2. Установить SMT-конденсатор с алюмоорганическим полимером на 22 мкФ/40 мОм. **Стоимость схемы: 0,45 долл.**
3. Установить танталовый SMT-конденсатор с полимерным покрытием на 22 мкФ/40 мОм. **Стоимость схемы: 1,33 долл.**

ВЫВОДЫ

Модули VRM представляют собой систему управления с обратной связью. При малом значении импеданса соединений во всем диапазоне АЧХ стабилизатора напряжения вся цепь распределения питания жестко связана с этим устройством. Являясь его нагрузкой, она уменьшает необходимость в сглаживающей емкости, но в то же время делает характеристику модуля стабилизации напряжения менее устойчивой. Характеристику модуля стабилизации напряжения можно оптимизировать с помощью симуляции, уменьшив при этом его размеры и стоимость.

ОТ ЛАБОРАТОРИИ — К ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМУ ЦЕНТРУ

АЛЕКСАНДР ГУБА, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электроники и микропроцессорной техники ДГТУ

Когда мы говорим о подготовке инженеров в области электроники, то чаще всего касаемся системных проблем высшего профессионального образования, качества подготовки специалистов и дефицита кадров на предприятиях. Однако в современной высшей технической школе есть очень позитивный и успешный опыт организации обучения. Пример тому — деятельность исследовательского центра «Современные электронные элементы и технологии» Дагестанского государственного технического университета (ДГТУ).

Исследовательский центр «Современные электронные элементы и технологии» ДГТУ был создан в 2004 г. Процесс его создания простым не назовешь, а началось все с лаборатории цифровых сигнальных процессоров Analog Devices (ADI). Сотрудники компании поверили в серьезность наших намерений и включили ДГТУ в состав участников своей «Программы поддержки технических университетов».

По мере расширения центра Analog Devices предоставила дополнительные комплекты оборудования для создания трех лабораторий: аналоговых микроконтроллеров, аналоговых и цифровых устройств, а также лаборатории энергосберегающих технологий. На базе последней в январе нынешнего года при университете был организован самостоятельный исследовательский центр «Энергосберегающие технологии и интеллектуальный учет в электроэнергетике».

В дальнейшем примеру компании Analog Devices последовали другие зарубежные производители, в частности, Renesas, Altera, Freescale, включившие университет в состав участников своих университетских программ и предоставившие необходимое оборудование и программное обеспечение. Наряду с этим были дополнительно организованы лаборатория ПЛИС, оснащенная продукцией компании Xilinx, и лаборатория аналоговой и цифровой схемотехники. И теперь исследовательский центр «Современные электронные элементы и технологии» насчитывает семь лабораторий, располагающих 52 рабочими местами.

Одним из основных видов деятельности исследовательского центра является подготовка специалистов по применению микропроцессорной техники в системах управления технологическими процессами, цифровой обработки сигналов и автомати-

зации проектирования электронных устройств. Являясь самостоятельным подразделением в составе ДГТУ, исследовательский центр предоставляет ресурсы своих лабораторий для проведения занятий студентов, которые проходят обучение по профильным специальностям на разных факультетах. С целью оптимизации учебного процесса в лабораториях в 2007 г. была организована кафедра электроники и микропроцессорной техники, преподавателями которой являются сотрудники центра. Процесс подготовки специалистов не ограничивается проведением лекционных и лабораторных занятий по соответствующим дисциплинам. Он предполагает также проведение студенческих технических семинаров, в т.ч. интерактивных, организованных совместно с компанией ЭЛТЕХ, а также выполнение курсовых и дипломных проектов с элементами исследований и последующей практической реализацией разработанных студентами устройств. За время деятельности исследовательского центра было организовано 16 студенческих семинаров, в рамках которых результаты своих исследований и разработок представили более 250 человек.

Неоценимую помощь в подготовке специалистов оказывают сотрудники российского представительства компании Analog Devices, которые за последние годы провели в исследовательском центре для студентов, преподавателей и специалистов предприятий региона семь технических семинаров по продукции компании и особенностям ее применения в различных устройствах и системах (см. рис. 1). Аналогичный семинар был проведен и представителями компании e2v. К слову сказать, все мероприятия подобного рода проходят в специально оборудованном для



Рис. 1. Семинар по продукции компании Analog Devices

этих целей помещении исследовательского центра, оснащенном необходимыми средствами оргтехники.

Другим значимым направлением деятельности исследовательского центра является разработка и изготовление учебно-лабораторного и специализированного оборудования. На рабочих местах в каждой лаборатории центра имеются, как правило, по две-три оценочных платы различных компаний-производителей. Но работа только с этими базовыми комплектами имеет лишь ознакомительный характер и не способствует освоению всех функциональных возможностей представленных узлов. Поэтому каждое рабочее место дополнительно укомплектовывается технологическими объектами управления и при необходимости — специализированными источниками сигналов (см. рис. 2). Такое решение позволяет проводить не только синтез и анализ эффективности алгоритмов управления различными объектами, но и оценивать целесообразность применения тех или иных компонентов в опытно-конструкторских работах.

К примеру, в лаборатории микроконтроллеров компании Renesas в качестве объектов управления используются светоизлучающие индикационные табло разной конфигурации, что позволяет осуществлять синтез информации и применять различные алгоритмы ее отображения. В лаборатории аналоговых микроконтроллеров компании Analog Devices объекты управления представлены различными двигателями, модулем Пельтье, системой позиционирования, а в лаборатории цифровых сигнальных процессоров для синтеза алгоритмов цифровой фильтрации применяются, в частности, генераторы шумоподобных сигналов. Оборудование разработано и изготовлено специалистами исследовательского центра. По результатам проведенных исследований и выполненных разработок сотрудники исследова-

тельского центра опубликовали свыше 40 авторских статей и переводов.

Исследовательский центр является постоянным участником региональных и международных выставок, в частности, выставок Chip Expo 2009, 2010, 2011 гг., «Новая Электроника» 2012, 2013 гг., салона «Архимед». Представляя ДГТУ, исследовательский центр демонстрирует и свою продукцию. На выставке «Chip Expo-2010» в конкурсе «Золотой Чип» в номинации «Лучшие изделия российской электроники и микроэлектроники 2009—2010 гг.» за разработку линейки генераторов шумоподобных сигналов (см. рис. 3) исследовательскому центру был присужден диплом третьей степени. Устройство отображения трехмерной информации с интерактивными возможностями (см. рис. 4), представленное в салоне «Архимед-2013», было удостоено почетного диплома и специального приза «За оригинальное техническое решение». В ближайшие наши планы входит участие в международной выставке «Gadget fair-2013», которая пройдет в сентябре этого года в Москве, и куда мы планируем привезти образцы собственной готовой продукции.

Отлаженная и довольно продуктивная деятельность исследовательского центра обеспечивается двумя факторами. Во-первых, следует отметить исключительное внимание и всестороннюю поддержку со стороны ректора университета Тагира Абдурашидовича Исмаилова. Во-вторых, большой вклад вносит квалифицированный трудолюбивый коллектив инженеров и техников. О высокой квалификации сотрудников можно судить по результатам проделанной работы и количеству грантов, выделенных для новых разработок. Только за последние два года было получено семь грантов, два из которых — от ректора университета, три — от Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-тех-



Рис. 2. Рабочее место в лаборатории цифровых сигнальных процессоров



Рис. 3. Генераторы шумоподобных сигналов



Рис. 4. Устройство отображения трехмерной информации с интерактивными возможностями

нической сфере «Умник» и еще два — от Президента РФ.

Информационную поддержку деятельности исследовательского центра осуществляет наш старый добрый партнер — медиагруппа «Электроника». Сотрудники медиагруппы не раз бывали в лабораториях центра, получая приглашения к участию в наших мероприятиях.

НОВОСТИ ВУЗОВ

| В ЦЕНТРЕ ВНИМАНИЯ — СЭЭТ | В течение двух дней в конце прошлого месяца в конференц-зале исследовательского центра «Современные электронные элементы и технологии» (СЭЭТ) проходил студенческий семинар «Электронные компоненты и их применение в устройствах и системах автоматики и вычислительной техники».

В работе 16-го технического семинара приняли участие более 60 студентов разных специальностей университета, из которых 14 представили доклады по результатам проведенных исследований и выполненных разработок. По завершении семинара члены жюри выделили в качестве наилучших доклады студентов Рустама Казибекова, Марият Джабраиловой и Сарат Абдусаламовой. Приказом ректора университета отличившимся на семинаре студентам объявлена благодарность.

Несколько дней спустя подразделения исследовательского центра посетила делегация специалистов промышленных предприятий во главе с Олегом Евгеньевичем Бряндой, заместителем директора Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ. В ходе визита посетители ознакомились с реализуемыми проектами, оснащенностью лабораторий и изготовленной продукцией. Гости дали высокую оценку деятельности центра СЭЭТ.

meet.dstu.ru

МЭЕТ



**ANALOG
DEVICES**

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «Современные электронные элементы и технологии»

Исследовательский центр «Современные электронные элементы и технологии» был создан в 2004 году при содействии компании ANALOG DEVICES Inc., предоставившей Дагестанскому государственному техническому университету (ДГТУ) статус участника программы поддержки технических университетов.



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ:

- подготовка специалистов по применению микропроцессорной техники в системах управления технологическими процессами, цифровой обработки сигналов и автоматизации проектирования электронных устройств;
- проведение НИОКР;
- разработка и изготовление учебно-лабораторного и специализированного оборудования;
- проведение технических семинаров и оказание консультаций сотрудникам предприятий и организаций региона

ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА:

- лаборатория цифровых сигнальных процессоров компании ADI;
- лаборатория аналоговых микроконтроллеров компании ADI;
- лаборатория функциональных узлов компании ADI;
- лаборатория микроконтроллеров компании Renesas;
- лаборатория микроконтроллеров компании Freescale;
- лаборатория ПЛИС компании Xilinx;
- лаборатория аналоговой и цифровой схемотехники

ПАРТНЕРЫ



КОНТАКТЫ:

www.meet.dstu.ru, e-mail: analog04@mail.ru

О МЕЖСЛОЙНЫХ ПЕРЕМЫЧКАХ

БАРРИ ОЛНИ (BARRY OLNEY), исполнительный директор, In-Circuit Design Pty Ltd. (iCD)

Ключом к созданию оптимальных многослойных плат является понимание того, как и где протекают обратные токи. Но важно, чтобы и плата была изготовлена в соответствии с требованиями заказчика, нецелесообразно делегировать фабрике контроль сопротивлений и выбора материалов. Статья представляет собой перевод [1].

Канавки, островки, вырезы в земляном слое, изолированные слои питания, плавающие участки земли и множество других изощренных методов используется разработчиками печатных плат для уменьшения перекрестных помех, электромагнитных излучений (ЭМИ) и повышения производительности системы.

Однако прохождение высокоскоростного сигнала через щелевые отверстия в слое вызывает проблемы, по крайней мере вдоль трех измерений, в т.ч. с качеством сигнала, перекрестными помехами и ЭМИ. Проблему создает разрыв импеданса на пути сигнала, пересекающего щелевое отверстие. Разрыв отражает энергию обратно в сторону источника, особенно более высокочастотные компоненты сигнала. На высоких частотах обратный ток идет

по пути наименьшей индуктивности, пролегающему непосредственно под сигнальной трассой, однако этот путь прерывается щелью. Поэтому обратный ток должен найти альтернативный путь к источнику, создавая большую площадь петли и маленькую антенну для излучения в дифференциальном режиме.

Важно иметь в виду, что как земляной, так и силовой слои (любые слои) могут быть использованы в качестве опорного слоя и пути для обратного тока сигнала. Ключом к успешной разработке смешанных цифро-аналоговых схем является разделение функций, понимание путей движения обратного тока и управление трассировкой, а не увеличение земляных плоскостей. Всегда лучше иметь в системе только один опорный (заземляющий) слой.

Если цифровой сигнал (или сигналы) должен пересечь щель в опорном слое питания, можно поставить развязывающий конденсатор (100 нФ), играющий роль «межслойной перемычки», рядом с проблемным сигналом (сигналами), чтобы обеспечить путь для обратного тока между двумя источниками питания (например, 3,3 В —||— 1,5 В).

На рисунке 1 разрыв полностью изолирует опорные плоскости питания, поэтому для прохождения обратного тока через разрыв между площадками 3,3 и 1,5 В используется конденса-

тор-перемычка. Это очень эффективно, но этим следует пользоваться только в крайнем случае, если нельзя избежать трассировки такого сигнала через разрыв. Следует сказать, что данное решение выглядит странно — иметь развязывающий конденсатор на схеме между 3,3 В и 1,5 В, в то время как обычно развязывающие конденсаторы ставят между питанием и землей.

На рисунке 2 показано, как правильно разрешить эту ситуацию: управляющие сигналы переходят через «мостик» на разделенной плоскости. «Синие» следы сгруппированы вместе, снизу непрерывная плоскость земли, что обеспечивает надежный обратный путь для этих сигналов. Хитрость заключается в том, чтобы сигнал всегда подавался относительно непрерывной плоскости, чтобы опорная плоскость была неразрывной. Силовой слой может быть разрывным, если он не используется в качестве опорного. Но это самые простые примеры применения межслойных перемычек. Давайте посмотрим (см. рис. 3), где еще могут быть использованы эти волшебные перемычки.

Компания ICD недавно промоделировала плату, разработчики которой хотели трассировать высокоскоростные сигналы от чипа к разъему на верхней части платы. Дорожки веером расходились от BGA, шли прямо на слой 3 и выскакивали через сквозную пере-

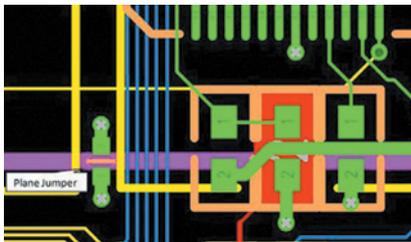


Рис. 1. На пути обратного тока используется конденсатор для соединения опорных площадок питания

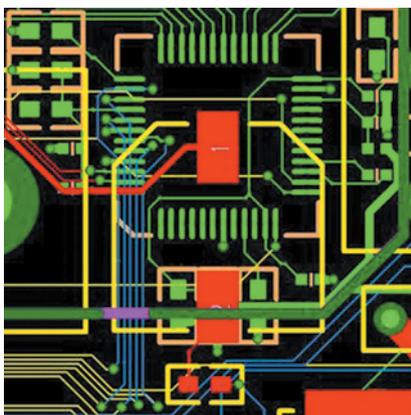


Рис. 2. Управляющие сигналы проходят по «мостику» через разделенную заземляющую (GND) плоскость

Layer No	Description	Layer Name	Material Type	Dielectric Constant	Dielectric Thickness	Copper Thickness	Trace Clearance	Trace Width	Current (Amps)	Impedance Characteristic (Z ₀)	Edge Coupled Differential (Z _{dif})
1	Signal	Top	Conductive	3.3	0.5	1.7	25	14	0.89	51.46	98.67
	Prepreg		IS FR408, 2116, R=56% (1 GHz)	3.7	3.8						
	Prepreg		IS FR408, 2116, R=56% (1 GHz)	3.7	3.8						
2	Plane	GND	Conductive			1.4					
	Core		IS FR408, 2-7628, R=40% (1 GHz)	3.7	14.0						
3	Signal	Inner 3	Conductive			1.4	25	7	0.47	50.78	100.61
	Prepreg		IS FR408, 2116, R=56% (1 GHz)	3.7	3.8						
	Prepreg		IS FR408, 2116, R=56% (1 GHz)	3.7	3.8						
4	Plane	VCC	Conductive			1.4					
	Core		IS FR408, 2-7628, R=40% (1 GHz)	3.7	14.0						
5	Plane	VDD	Conductive			1.4					
	Prepreg		IS FR408, 2116, R=56% (1 GHz)	3.7	3.8						
	Prepreg		IS FR408, 2116, R=56% (1 GHz)	3.7	3.8						
6	Signal	Bottom	Conductive			1.7	25	14	0.89	51.46	98.67
	Soldermask		Dielectric	3.3	0.5						

Рис. 3. Путь сигнала (красный) и обратного тока (синий)

Units: mil — единица: мил; Total board — полная плата; Differential pairs — дифференциальные пары; Layer No — слой №; Description — описание; Layer name — название слоя; Material type — тип материала; Dielectric constant — диэл. проницаемость; Dielectric thickness — толщина диэлектрика; Copper thickness — толщина меди; Trace clearance — зазор между проводниками; Trace width — ширина проводника; Current (Amps) — ток (А); Impedance Characteristic (Z₀) — характеристическое сопротивление (Z₀); Edge Coupled Differential (Z_{dif}) — граничное дифф. сопротивление (Z_{dif}); Soldermask — паяльная маска; Dielectric — диэлектрик; Signal — сигнал; Prepreg — препрег; Core — сердцевина; Top — верхний; Inner 3 — внутренний; Bottom — нижний; Conductive — проводящий; 1 GHz — 1 ГГц; Plane jumper — межслойная перемычка



- Высокая плотность энергии: до 185 Втч/кг
- Возможно изготовление элементов под требуемый размер
- Большое количество циклов «заряд-разряд» и длительный срок службы
- Широкий температурный диапазон:
-20...+60°C
- Экологичные

мычку к разъему на верхнем слое. Это кажется вполне разумным.

Однако при детальном рассмотрении многослойной платы видно, что сигнал сначала шел относительно плоскости заземления на слое 2, а затем, после перехода на слой 3, вследствие близости, опорная плоскость сменилась на VCC (слой 4). В этом случае есть только одна возможность для обратного тока «перепрыгнуть» через слои, а именно — найти ближайший развязывающий конденсатор от VCC к GND, который может быть на (относительно) большом расстоянии от трассы сигнала, создавая петлю большой площади и нежелательные синфазные токи. Всего этого можно избежать, установив межслойный развязывающий конденсатор рядом с переходом «сигнал — сквозная перемычка» между VCC и GND.

Если на печатной плате имеются несколько слоев заземления, нельзя просто заявить, что «земля есть земля», и быть уверенным, что обратный ток найдет свой путь обратно к источнику. Сквозные перемычки, сшивающие GND-слои, следует размещать рядом с каждым сквозным переходом сигнала, чтобы соединить вместе земляные слои (GND), обеспечивая четкий обратный путь.

У разработчика были намерения использовать GND-плоскость на слое 2 в качестве общей опорной плоскости. Все было бы хорошо, пока отсутствие связи (и понимания расчетных параметров) не заставило бы инженера автоматизированного производства изменить толщину внутреннего слоя и материала препрегов, чтобы использовать имеющиеся в наличии диэлектрические материалы со склада. Это классический случай, подобные которому наблюдаются постоянно. Это тот рубеж, за которым наш проект переходит в реальный мир — производство. Многие разработчики редко осмеливаются перейти этот рубеж, не зная особенностей процесса изготовления печатных плат. Однако фактически, чем больше мы знаем особенности производственных процессов, тем лучше становятся наши проекты и разработки.

Профессионал CAM (computer-aided manufacturing, автоматизированное производство) рассматривает вашу плату в чисто физических терминах. Он, скорее всего, не имеет представления о том, какие сигналы являются критическими, и каковы пути обратного тока. Его окно в ваш мир состоит из слоев диэлектрических материалов, медной фольги, металлизированных переходных отверстий и масок припоя. Стандартный формат файла Gerber, который передается из дизайн-центра на фабрику, это довольно примитивный (на основе старых X,Y-плоттеров), но

очень эффективный формат для описания двумерной графической информации. Она хорошо подходит для представления двух основных компонентов изображения печатной платы: линий и точек. Но это все, чем они являются для инженера CAM.

Поэтому важно, чтобы контроль над построением многослойных плат осуществляли разработчики печатных плат и инженеры, совместно работающие над их изготовлением. Для этого разработчикам требуется полный список стандартных диэлектрических материалов от популярных производителей, таких как Isola, Nelco, Rogers и др., а также возможность вставлять их в прототип многослойной платы, определяя несимметричный и дифференциальный импеданс этих материалов в сочетании с правилами макетирования печатных плат. Планировщик ICD Stackup Planner, показанный на рисунках 3 и 4 (программа доступна для загрузки на www.icd.com.au), обрабатывает эти задачи достаточно хорошо, фактически обеспечивая интерфейс между CAM, моделированием целостности сигнала и топологией печатных плат.

Поскольку слой 3 теперь ближе к плоскости GND на слое 2 (см. рис. 4), то именно он будет использован в качестве канала обратного тока, а не VCC, как раньше. И в этом случае нет никакой необходимости в межслойных перемычках. Это, безусловно, лучший сценарий. Разработчик печатной платы может передать эту информацию на производство с уверенностью, что задуманная многослойная сборка будет производиться в соответствии с электрическими требованиями разработки.

ЧТО СЛЕДУЕТ ЗАПОМНИТЬ

- Щелевое отверстие в плоскости вызывает разрыв сопротивления на пути сигнала, создавая отражения сигнала, перекрестные помехи и нежелательные синфазные токи, которые могут привести к проблемам с EMI.

- Как земляная, так и силовая плоскости (любая плоскость) могут быть использованы в качестве опорной плоскости и пути обратного тока сигнала.
- Всегда лучше иметь в системе только одну опорную плоскость (земля).
- Межслойные перемычки (керамические развязывающие конденсаторы) обеспечивают путь для обратного тока между двумя плоскостями питания.
- Мост, предоставляемый соседним слоем, лучше всего подходит для управляющих сигналов, чтобы пересечь щель в плоскости.
- Межслойные перемычки (развязывающие конденсаторы) можно размещать рядом со сквозными соединениями, чтобы обеспечить обратный ток между слоями.
- Если есть несколько земляных слоев, то связывающие эти земли сквозные соединения следует размещать рядом с каждым межслойным переходом сигнала.
- Чем больше разработчики печатных плат знают о процессах изготовления, тем лучше результат нашего проекта.
- Контроль над многослойной конструкцией должны осуществлять разработчики аппаратуры, чтобы электрические параметры изделия не были серьезно искажены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barry Olney *The Plain Truth About Plane Jumpers*//PCB Design Magazine, November 2012.
2. Barry Olney. *Advanced Design for SMT two-day course*.
3. Barry Olney. *Beyond Design: The Dumping Ground*.
4. Barry Olney. *Intro to Board-Level Simulation and the PCB Design Process*.
5. Barry Olney. *PCB Design Techniques for DDR, DDR2 & DDR3, Part 1, 2*.
6. Henry Ott. *Electromagnetic Compatibility Engineering*.
7. Howard Johnson. *High-Speed Digital Design*.
8. *The ICD Stackup Planner and PDN Planner*//www.icd.com.au.

Layer No.	Description	Layer Name	Material Type	Dielectric Constant	Dielectric Thickness	Copper Thickness	Trace Width	Trace Clearance	Current (Amps)	Impedance Characteristic(Z0)	Edge Coupled Differential(Zdiff)
1	Signal	Top	Conductive	3.3	0.5	1.7	15	10	0.7	53.85	100.91
	Prepreg		IS FR408 ; 1080 ; R=65% (1 GHz)	3.47	2.9						
2	Plane	GND	Conductive	4.01	10.0	1.4					
	Core		IS FR408 ; 2-1652 ; R=42% (1 GHz)	4.01	10.0						
3	Signal	Inner 3	Conductive	3.96	7.1	1.4	20	10	0.61	52.55	99.85
	Prepreg		IS FR408 ; 7628 ; R=44% (1 GHz)	3.96	7.1						
	Prepreg		IS FR408 ; 7628 ; R=44% (1 GHz)	3.96	7.1						
	Prepreg		IS FR408 ; 7628 ; R=44% (1 GHz)	3.96	7.1						
4	Plane	VCC	Conductive	4.01	10.0	1.4					
	Core		IS FR408 ; 2-1652 ; R=42% (1 GHz)	4.01	10.0						
5	Plane	VDD	Conductive	3.47	2.9	1.4					
	Prepreg		IS FR408 ; 1080 ; R=65% (1 GHz)	3.47	2.9						
	Prepreg		IS FR408 ; 1080 ; R=65% (1 GHz)	3.47	2.9						
6	Signal	Bottom	Conductive	3.3	0.5	1.7	15	10	0.7	53.85	100.91
	Soldermask		Dielectric	3.3	0.5						

Рис. 4. В этом случае путь обратного тока использует общий слой GND (слой 2)
Обозначения те же, что и на рис. 3

Обновление линейки радиоканальных систем на кристалле CC430

Особенности нового подсемейства



	CC430F613x	CC430F614x
Режимы пониженного энергопотребления:		
• LPM3.5	-	RTC_D + Backup RAM
• LPM4.5	-	+
• Резервирование RAM	-	128 байт
Периферия:		
Часы реального времени (RTC)	RTC_A	RTC_D (+ LPM3.5)
АЦП	12-бит	10-бит

	+ LCD	Без LCD
RTC_A	CC430F612x	-
RTC_A + ADC_12	CC430F613x	CC430F513x
RTC_D + BackUp RAM	-	CC430F512x
RTC_D + BackUp RAM + ADC_10	CC430F614x	CC430F514x

Сравнительная таблица

Device	Flash	RAM	LPM3.5/4.5	LCD, сегментов	USCI		АЦП	GPIO	Корпус
					LUART/LIN/IrDA/SPI	SPI/I2C			
CC430F6143/45/47	8/16/32	2/2/4	+	96	1	1	10-bit SAR	44	QFN64
CC430F5143/45/47	8/18/26	2/2/4	+	-	1	1	10-bit SAR	30	QFN48
CC430F5123/25	8/16	2/2	+	-	1	1	10-bit SAR	30	QFN48
CC430F6135/37	16/32	2/4	-	96	1	1	12-bit SAR	44	QFN64
CC430F6125/26/27	16/32/32	2/2/4	-	96	1	1	-	44	QFN64
CC430F5133/35/37	8/16/32	2/2/4	-	-	1	1	12-bit SAR	30	QFN48

Отладочные средства



MSP-FET430UIF



EZ430-CHRONOS



EM430F6147RF900

► Получите больше информации: ti@mtgroup.ru

РЕКЛАМА



ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА • СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТОВ • СКЛАД

MTsystem

www.mt-system.ru

Санкт-Петербург:
ул. Калинина, 13
Тел.: (812) 325-36-85
Факс: (812) 786-85-79
e-mail: info@mt-system.ru

Москва:
ул. Красноармейская, д.11, корп.1
Тел.: (495) 988-20-73
Факс: (495) 988-20-74
e-mail: moscow@mt-system.ru

**TEXAS
INSTRUMENTS**

IXYS

NXP

bluegiga

WIZnet

molex

TE

**SAMSUNG
ELECTRONICS**

Futaba

SIMCom

**ON
Semiconductor**

**INNOLUX
CORPORATION**

Panasonic

BRIDGELUX

ambec

ИСПЫТАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ОТКАЗ

ПОЛ ЛИ (PAUL LEE), директор по развитию бизнеса, Murata Power Solutions

Испытания на принудительный отказ, другие способы тестирования долговечности и нагрузочной способности помогают производителям источников питания непрерывно повышать надежность своих изделий. Проведение корректного анализа и применение полученных данных на стадиях разработки и сборки изделий также позволяют оптимизировать процесс тестирования и проведения испытаний на принудительный отказ. Статья представляет собой перевод [1].

Возможно, на надежность конечных устройств большее влияние оказывает не надежность компонентов, а качество и воспроизводимость процесса сборки. Паяные соединения, разъемы и механические крепления являются потенциальными источниками дефектов, способных привести к отказам устройств.

ИСПЫТАНИЯ НА ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ОТКАЗ

Целью испытаний на принудительный отказ источников питания, которые уже прошли необходимое тестирование в ходе изготовления, является устранение «ранних отказов», показанных на кривой зависимости интенсивности отказов от времени работы красным цветом (см. рис. 1). Эти ранние отказы могут быть связаны со скрытыми дефектами внутри комплектующих устройств, принципиальными нарушениями технологии изготовления и скрытыми дефектами из-за несоответствующего обращения с компонентами, например из-за электростатического пробоя. Отметим, что в сфере испытаний на надежность не существует каких-либо абсолютных значений — в ней фигурируют только понятия вероятности и уровней достоверности при проведении достаточного количества испытаний. Таким образом, нет никаких гарантий, что даже после проведения испытаний на принудительный отказ будут выявлены все источники «ранних отказов».

В течение многих лет традиционный подход к тестированию на прину-

дительный отказ источников питания заключался в испытаниях изделий при повышенной температуре, часто при максимально допустимой температуре, поскольку считалось, что это ускоряет процесс выявления скрытых дефектов. При этом источники питания работали на полную нагрузку, а входное напряжение выставлялось то максимальным, то минимальным, имитируя в зависимости от топологии устройства либо режим максимальной нагрузки по напряжению, либо максимальной нагрузки по току.

К выбору условий тестирования необходимо подходить очень внимательно, поскольку при небольших нагрузках отдельные участки некоторых схем могут испытывать значительный стресс, например демпферные цепи в преобразователях переменной частоты. В этом отношении необходимо проявлять определенное мастерство. Например, если устройство создано для работы в нормальных условиях с принудительной вентиляцией, в ходе тестирования при малой нагрузке этот поток можно исключить, чтобы обеспечить соответствующую температурную нагрузку для проверки самых нагреваемых компонентов. Однако в отсутствие распространяемого тепла за счет принудительно подаваемого воздуха многие компоненты устройства могут в этих условиях испытывать недостаточную нагрузку.

В компании Murata Power Solutions для некоторых устройств иногда используется метод тестирования на принудительный отказ, заключающий-

ся в организации циклических испытаний, которые состоят из поочередного переключения выходных цепей схемы из разомкнутого состояния в коротко замкнутое и обратно. Этот метод в режиме короткого замыкания обеспечивает существенные нагрузки по току и одновременно проверку встроенных цепей защиты, а в разомкнутом состоянии многие компоненты схемы испытывают большие нагрузки по напряжению. Главное достоинство данного метода заключается в том, что мощность в случаях короткозамкнутых и разомкнутых цепей нагрузки теоретически равна нулю, хотя на практике в режиме короткозамкнутой нагрузки MOSFET может рассеивать несколько ватт мощности.

Этот метод в ходе тестирования на принудительный отказ решает проблему, связанную со снижением рассеиваемой мощности. Однако он не применим для проверки некоторых типов нагрузок на компоненты, поскольку полная мощность, подаваемая на устройство, может быть недостаточной для их саморазогрева. В этих случаях помогает повышенная окружающая температура, компенсирующая нехватку тепла, которое выделяется нагрузкой.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ НА ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ОТКАЗ

Некоторые топологии источников питания, у которых недостаточно хорошо определены токовые характеристики короткозамкнутых цепей и устройств защиты, не подходят для таких испытаний. Например, если в «жестко» замкнутой цепи выходной ток намного меньше максимального номинального выходного тока или срабатывает защита источника питания от перегрузки по току, уровень нагрузки может оказаться недостаточным для того, чтобы считать испытания эффективными.

Опыт проведения тестирования на принудительный отказ показал, что циклические температурные испытания выявляют больше ранних отказов по сравнению с испытаниями при постоянной повышенной окружающей

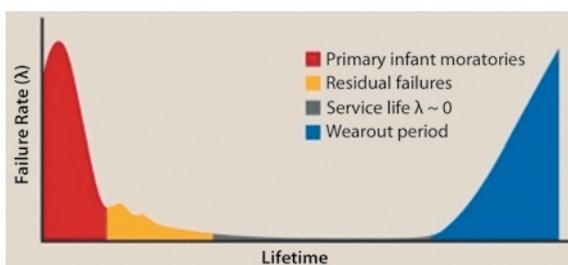


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов от времени работы, позволяющая выявить «ранние отказы»

Failure Rate (λ) — интенсивность отказов, λ ; Life time — срок износа; Primary... — основные «ранние отказы»; Residual... — остальные отказы; Service life — период эксплуатации; Wearout... — период износа; Lifetime — срок службы

температуре, хотя типы отказов могут не совпадать. По этой причине циклические температурные испытания с временем выдержки при каждой заданной температуре являются более предпочтительными. На рисунке 2 показано, что повышение скорости изменения температуры в ходе тестирования на принудительный отказ позволяет выявить большее количество отказов за меньшее количество циклов.

Отметим, что при повышении скорости изменения температуры в ходе тестирования на принудительный отказ могут измениться типы неисправностей, более-менее связанных с типом приложенной нагрузки, а также появиться новые типы остаточных отказов, никак не связанных с нагрузкой. Даже несмотря на то, что существует оборудование, способное обеспечить скорость изменения температуры до 60°C/мин и выше, производители редко используют скорость выше 45°C/мин, чтобы избежать чрезмерной тепловой нагрузки, приводящей к растрескиванию многослойных керамических конденсаторов (MLCC).

В отсутствие термических циклических камер применение циклического изменения мощности при повышенной окружающей температуре с корректно подобранными временными параметрами обеспечивает такую же эффективность тестирования, что и с помощью этих камер. Необходимо внимательно отслеживать, чтобы в ходе тестирования на принудительный отказ изделия не подвергались воздействию внешних нагрузок в случае нетипичных окружающих условий. В случае перегрузки, в лучшем случае, происходит значительное истощение ресурсов хороших изделий, а в худшем — появляются серьезные или скрытые неисправности в оставшейся части годных изделий. Если в состав изделия входят компоненты с характерным только для них механизмом износа, например электролитические конденсаторы или оптопары, по окончании тестирования на принудительный отказ необходимо объективно оценить оставшийся срок их эксплуатации.

В компании Murata Power Solutions продолжительность тестирования на принудительный отказ обычно задается равной 24 ч, но если по окончании определенного количества часов отказы перестают фиксироваться, принимается решение о сокращении времени испытаний. Стандарт IPC-9592 определяет нормы по снижению продолжительности тестирования на принудительный отказ в зависимости от наблюдаемой интенсивности отказов в течение заданного количества часов.

Тестирование на принудительный отказ можно отменить, если после выпуска нескольких партий продукции не было выявлено ни одного отказа. Однако

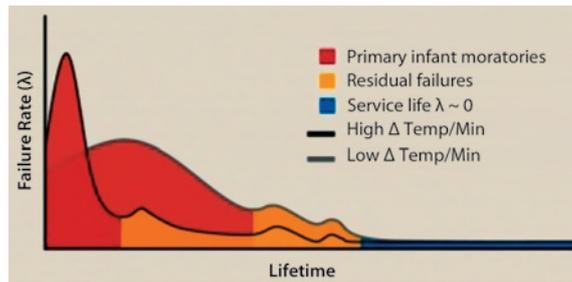


Рис. 2. Увеличение скорости изменения температуры при тестировании источников питания ведет к росту интенсивности отказов и появлению более «ранних отказов»

Failure Rate (λ) — интенсивность отказов, λ ; Life time — срок износа; Primary... — основные «ранние отказы»; Residual... — остальные отказы; Service... — период эксплуатации; High — большой показатель; Low — малый показатель; Lifetime — срок службы

такое решение может оказаться весьма спорным, поскольку не существует гарантии, что при производстве очередной партии изделий не будет использована серия дефектных компонентов или не произойдет сбой в техпроцессе. В ходе серийного производства узлы, отличающиеся большой интенсивностью ранних отказов, часто связанных с некоторой долей ручной сборки, могут подвергаться тестированию на принудительный отказ в выборочном режиме даже по окончании испытаний всей партии изделий и предварительной оценки периода их безотказной работы.

Период безотказной работы определяется с помощью статистических таблиц, в которых приводятся следующие данные: прогнозируемый процент ранних отказов, известная интенсивность отказов, тип ее распределения, размер партии и процентный уровень достоверности того, что осталось определенное количество скрытых дефектов. Например, рассмотрим партию из 10 тыс. изделий. Известно, что для партий таких изделий характерным является значение 10 ранних отказов на партию. При этом при температуре проведения испытаний на принудительный отказ среднее время безотказной работы (MTTF) составляет 10 ч. С помощью статистических таблиц находим, что в этом случае для достижения 90%-го уровня достоверности того, что осталось только один скрытый дефект, потребуется задать время безотказной работы, равное 13 ч. А для 90%-го уверенности в том, что не осталось ни одного скрытого дефекта, способного привести к раннему отказу, этот период увеличивается до 24 ч [2].

Некоторые производители принимают решение о продлении испытаний на принудительный отказ после того, как обнаруживают, что не все типы описанных ранних отказов, характерных для источников питания, оказались выявлены при тестировании в заданном временном интервале. К тому же не все традиционные испытания на принудительный отказ способны выявить ранние типы отказов, связанных с ударами и вибрацией в процессе доставки и эксплуатации.

Для выявления таких типов отказов применяются более агрессивные предельно ускоренные стрессовые испытания (HASS), в которых используются механические, тепловые и электрические нагрузки, как правило, превышающие номинальные значения рабочих параметров, но находящиеся в пределах расчетных значений. При таком подходе факторы ускорения могут в 40 раз превышать традиционные значения, используемые в тестировании на принудительный отказ, что существенно сокращает время испытаний.

Проблема, однако, заключается в том, что нагрузки являются настолько экстремальными, что появляется риск повреждения хороших изделий и формирования в них серьезных или скрытых дефектов. Во избежание этого была разработана технология проведения предельно ускоренных ресурсных испытаний (HALT), предназначенная для определения реальных пределов нагрузок, связанных с воздействием экстремальных температур, тепловых циклов, прогрессивно повышающихся уровней вибрации, а также комбинации тепловых циклов и вибрации, приводящих к появлению дефектов в изделиях.

В ходе такого тестирования определяются пределы разрушения источников питания. Значения этих пределов используются в дальнейшем для установки уровней нагрузки в HASS-испытаниях. Результаты HALT-испытаний также широко применяются при разработке изделий для определения потенциально «слабых» мест проекта. Для проведения HALT-испытаний установка тестирования, как правило, должна включать в себя блок линейной регулировки температуры в диапазоне $-55...125^{\circ}\text{C}$ и блок, обеспечивающий вращательную и линейную вибрации в шести направлениях. Такое оборудование требует серьезных материальных вложений, поэтому HALT-испытания часто проводятся в специализированных центрах.

КОГДА ОСТАНОВИТЬ ИСПЫТАНИЯ НА ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ОТКАЗ

Как только уровень отказов изделий, наблюдаемый в ходе тестирования

на принудительный отказ, снижается до определенного значения, что, как правило, связано с модернизацией процесса их изготовления, такие испытания можно полностью остановить. Стандарт IPC-9592, например, допускает прекращение испытаний через год или по прошествии времени тестирования данной продукции в течение 30 тыс. ч, если при этом максимальная интенсивность отказов в зависимости от типа изделия составила 0–400 ppm (ppm — одна миллионная доля). Таких показателей можно добиться только при условии, что процесс производства является полностью прогнозируемым, а качество используемых материалов таково, что в них практически отсутствуют скрытые внутренние дефекты. Другими словами, применяемые в изделии компоненты сами по себе не являются источниками ранних отказов, поскольку их собственный уровень скрытых дефектов ничтожно мал.

Несмотря на то, что современные компоненты отвечают этому уровню качества, а системы контроля качества на производстве минимизируют отклонения, связанные с процессом их изготовления, остается реальный риск того, что потребитель может столкнуться с ранними отказами. В данном случае приходится решать, что дороже: имидж компании или затраты на проведение тестирования на принудительный отказ. Необходимо всегда помнить, что, как правило, потребители сталкиваются с проблемой отказов изделий в процессе их эксплуатации в период гарантийного срока обслуживания.

При незначительном количестве ранних отказов ими можно в ряде случаев пренебречь. Например, одно из изделий компании Murata Power Solutions, реализованное на базе качественных компонентов по испытанной технологии без проведения тестирования на принудительный отказ, продемонстрировало в процессе эксплуатации среднее время безотказной работы (MTTF) свыше 25 млн ч. Эта цифра была получена с учетом 130 отказов при объеме продаж 4,37 млн изделий в течение 6 лет. При этом считалось, что изделия работали 25% времени в течение всего указанного периода, а об отказах было сообщено только в 10% случаев, а также все поставленные изделия до сих пор находятся в эксплуатации. Поскольку 30 отказов на миллион поставленных изделий — очень хороший показатель, в этом случае прекращение испытаний на принудительный отказ вполне оправдано. Отметим, что некоторые производители рассчитывают частоту отказов (dppm) как их количество на поставку, или в течение короткого времени поставки. Такая оценка позволяет понять, в какой мере интенсивность

отказов любых электронных компонентов зависит от времени!

В настоящее время тесты на определение надежности проводятся только в случаях, когда в ходе непрерывного процесса изготавливается большое количество изделий и можно оценить их надежность в процессе эксплуатации (MTBF). Точность этого показателя зависит от роста интенсивности отказов в процессе тестирования, что можно оценить по известной зависимости отказов (MTBF). Точность этого показателя зависит от роста интенсивности отказов в процессе тестирования, что можно оценить по известной зависимости отказов (MTBF).

По уравнению Аррениуса оценивается коэффициент увеличения интенсивности отказов, определяемый постоянным значением интенсивности ранних отказов. Это уравнение взято из химии, и, теоретически, для него требуется знание эффективных «энергий активации» для всех типов отказов. На основе практического опыта было установлено, что увеличение температуры на каждые 10°C выше реальной рабочей температуры ведет к удвоению коэффициента увеличения интенсивности отказов. Например, при эксплуатации 50 изделий в течение 6 мес. при 70°C в течение 219 тыс. ч не было выявлено ни одного случая отказа. Из статистических таблиц получаем, что это соответствует интенсивности отказов (λ), равной 4110 отказов в течение 109 ч работы (4110 FIT) при уровне достоверности 60% или 10502 FIT при достоверности 90%.

Из этого практического правила следует, что при более низкой температуре, например 40°C, интенсивность отказов по сравнению с эксплуатацией при 70°C уменьшилась в 8 раз, т.е. стала 514 FIT и 1313 FIT, соответственно. Поскольку FIT равно $\lambda \times 10^9$, а MTBF = $1/\lambda$, из этих цифр следует, что прогнозируемый показатель MTBF составляет 1,95 млн ч и 760 тыс. ч при достоверности 60 и 90%, соответственно. Может показаться странным, что в ходе тестирования не было выявлено ни одного отказа, а статистические таблицы выдали конечное значение интенсивности отказов. Это связано с тем, что появление первого отказа считается случайной величиной. Следует подчеркнуть, что величина реальной интенсивности отказов в процессе эксплуатации является наиболее точной оценкой надежности изделия.

Рассчитанное значение MTBF можно сравнить с величиной, полученной в процессе испытаний на принудительный отказ. Однако расчеты иногда могут ввести в заблуждение, поскольку они строятся на основе интенсивностей отказов, используемых для компонентов, и зависят от метода расчета. Исследования, проведенные в компании Murata Power Solutions, показали,

что значения MTBF для одних и тех же схем, рассчитанные разными производителями источников питания, могут различаться более чем в 100 раз.

Различные стандарты, например MIL-HDBK-217F и Telcordia SR332, также дают разные результаты. Кроме того, в MIL приводятся два разных метода расчета. Один из методов, основанный на «количестве отказов», дает быструю, но весьма условную оценку, а второй метод на основе расчета «факторов, влияющих на интенсивность отказов», требует знания всех электрических рабочих характеристик. Например, рассчитать интенсивность отказов диода общего назначения за миллион часов с помощью второго метода, описанного в MIL-HDBK-217F, можно с помощью следующего выражения:

$$\lambda P = \lambda_b \cdot LT \cdot LS \cdot LC \cdot LQ \cdot LE,$$

где λ_b — базовая интенсивность отказов для разных типов диодов, а L-факторы зависят от температуры, электрической нагрузки, внутренней конструкции, качества изготовления и окружающей среды, соответственно. Для силового диода Шоттки с рабочей температурой перехода 80°C при электрической нагрузке 75% от номинальной, имеющего металлическую сварную конструкцию, пластиковый корпус и работающего в условиях хорошего заземления, расчетная интенсивность отказов равна:

$$\lambda P = 0,003 \cdot 5 \cdot 0,58 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 1 = 0,0696 \text{ отказов за 1 млн ч.}$$

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ НАД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Хотя испытание на принудительный отказ и является методом тестирования изделия, оно, по сути, служит методом контроля технологического процесса и его коррекции. Выявление отказов в ходе таких испытаний, а также отказов в процессе эксплуатации позволяет на основе их анализа оптимизировать схемы изделий и технологические процессы их изготовления, чтобы улучшить качество выпускаемой продукции. Исследования показали, что повышение качества производства всегда ведет к улучшению надежности выпускаемых изделий, снижению стоимости гарантийного обслуживания и повышает имидж компании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Paul Lee. *Impact of burn-in testing on power supply reliability*//www.eetimes.com.
2. Jensen, Finn. *Electronic Component Reliability: Fundamentals, Modeling, Evaluation, and Assurance*. John Wiley & Sons, 1995.

ТРАНЗИСТОРЫ FinFET — РЕВОЛЮЦИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ДЖАМИЛЬ КАВА (JAMIL KAWA), руководитель группы,
ЭНДИ БИДЛ (ANDY BIDDLE), менеджер по маркетингу продукции, Synopsys

Переход от планарных устройств к FinFET ставит перед проектировщиками задачи, решение которых требует образования и опыта. Статья представляет собой сокращенный перевод [1].

С момента зарождения промышленности интегральных схем (ИС) такие оценки как производительность, мощность, площадь, стоимость и время выхода на рынок остались прежними. Фактически, смысл закона Мура — в оптимизации этих параметров с целью получения минимального возможного размера транзистора с каждым новым технологическим поколением.

Однако, когда техпроцесс постепенно уменьшился до 20 нм, стало невозможно обеспечить соответствующее масштабирование некоторых параметров. Это особенно касается напряжения питания, которое определяет динамическую мощность. Кроме того, оптимизация одного параметра (например, быстродействия) автоматически приводит к ухудшению других (например, статической мощности).

Столкнувшись с новой мерой — быстродействие или производительность на единицу мощности (закон Куми), инженеры хотят оптимизировать проекты с помощью альтернативной технологии: транзисторов FinFET. По сравнению с планарными транзисторами FinFET обеспечивают намного лучшее быстродействие при том же бюджете мощности или равное быстродействие при гораздо меньшей мощности.

В соответствии с законом Мура разумно сделать вывод, что FinFET представляет собой самый радикальный сдвиг в полупроводниковой технологии за последние 40 лет. Когда в 1965 г.

Гордон Мур сформулировал свой закон, он имел в виду разработку, состоящую примерно из 50 компонентов. Сегодня чипы состоят из миллиардов транзисторов. Однако переход ко все более мелким размерам чреват опасностью большого тока утечки из-за эффектов короткого канала и флуктуаций концентрации примесей, что в конечном итоге грозит остановкой движения отрасли в сторону миниатюризации.

FINFET: ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ

Технология FinFET возникла в 1990-х гг., когда управление перспективных исследований Министерства обороны США (DARPA) начало финансирование исследований возможных преемников планарных транзисторов. Команда Калифорнийского университета в Беркли, возглавляемая доктором Ченьмин Ху, предложила новую структуру транзистора, позволяющую уменьшить ток утечки. Специалисты из Беркли предположили, что тонкая MOSFET-структура будет контролировать эффект короткого канала и подавлять утечки за счет того, что емкость затвора находится ближе к телу канала. Исследователи предложили две возможные структуры (см. рис. 1).

Вращение структуры двойного затвора, способной обеспечить наименьший ток утечки затвора, облегчает производство с использованием стандартных методов литографии (см. рис. 2). Электроды затвора при этом

совмещаются. В целом схема похожа на планарный полевой транзистор.

Современные FinFET имеют трехмерную структуру, возвышающуюся над плоской подложкой, что обеспечивает больший объем, чем у плоского затвора на той же площади. За счет отличного управления проводящим каналом при помощи затвора, который «обернут» вокруг канала, ток утечки через кристалл очень мал, когда устройство находится в выключенном состоянии. Поэтому можно использовать более низкие пороговые напряжения, что обеспечивает оптимальную скорость переключения и мощность.

Другие исследовательские команды показали, что FinFET масштабируются до тех пор, пока масштабируется толщина канала. Например, Корейский ведущий научно-технический институт (KAIST) продемонстрировал в своей лаборатории 3-нм FinFET.

ПЕРСПЕКТИВЫ FINFET

Ведущие фабрики прогнозируют, что производство трехмерных устройств будет стоить на 2—5% дороже, чем изготовление плоских пластин. Предполагается, что FinFET будет на 37% быстрее при потреблении вдвое меньшей динамической мощности или сократит статический ток утечки на 90%.

FinFET позволяют также упростить проблемные компромиссы между производительностью и мощностью. Разработчики могут ускорить транзисторы по сравнению с планарными эквивалентами при той же мощности или обеспечить ту же производительность при меньшей мощности. Таким образом, разработчики могут сбалансировать пропускную способность, производительность и мощность.

МИНИМИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМ

Современные разработчики микросистемных цифровых устройств думают прежде всего о том, как добиться наилучшего удельного показателя между производительностью и мощностью, а не о том, как разместить наибольшее число транзисторов

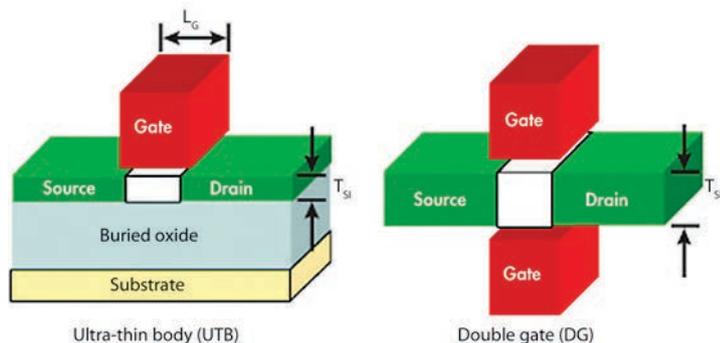


Рис. 1. Транзисторы FinFET имеют происхождение от тонких MOSFET

Source — исток; Gate — затвор; Drain — сток; Buried oxide — углубленный оксид; Substrate — подложка; Ultra-thin body (UTB) — сверхтонкое тело; Double gate (DG) — двойной затвор

на кристалле (работает закон Мура). Джонатан Куми показал, что энергоэффективность компьютеров удваивалась почти каждые 18 месяцев, с того момента как в 1950-х гг. были созданы первые компьютеры.

Закон Куми распространяется и на закон Мура, в особенности если иметь в виду исчезающий смысл разговоров о длине канала. Имея множество транзисторов на единицу площади, разработчики используют мультипроцессоры при более низком напряжении для обеспечения такой же производительности как с меньшим числом процессоров при более высоком напряжении. При этом жертвуется некоторая дополнительная площадь для экономии энергии с тем же уровнем производительности.

Фабрики хотят сделать переход к FinFET как можно более прозрачным и гладким. Для этого отрасль автоматизации проектирования электронных приборов должна хорошо поработать, чтобы ее инструменты могли понимать и моделировать с их помощью все сложные элементы этих устройств. Команды разработчиков хотят воспользоваться преимуществами по мощности, производительности и площади, предлагаемыми FinFET, для быстрого и безболезненного вывода продукции на рынок через знакомый процесс создания RTL (Register transfer level, уровень регистровых передач).

НЕ ПРОСТО ЕЩЕ ОДИН ТРАНЗИСТОР

Разработчики могут использовать знакомую процедуру разработки и работать с технологией FinFET практически так же, как с предшествовавшими разработками на основе объемных КМОП-транзисторов. Однако качество результатов будет сильно зависеть от качества IP.

Разработка оптимизированной памяти и стандартных элементов (физический IP) для FinFET требует знаний и опыта. Опытная команда разработчиков сможет использовать возможности FinFET для создания лучшего физического IP, не забыв про энергосбережение и производительность. Чтобы продолжить следовать закону Мура (и закону Куми), разработчики должны иметь возможность максимально использовать целевую технологию, что предполагает внимание к деталям.

Один из основных вызовов технологии FinFET — это дискретный размер fin-затвора. Ширина транзистора W , одна из главных переменных настройки размеров транзистора, больше не является непрерывным параметром. Дискретный размер затвора привносит в разработку новую переменную, без какого-либо обходного пути. Кроме того, такие дополнительные рычаги, обычно применяемые разработчиками

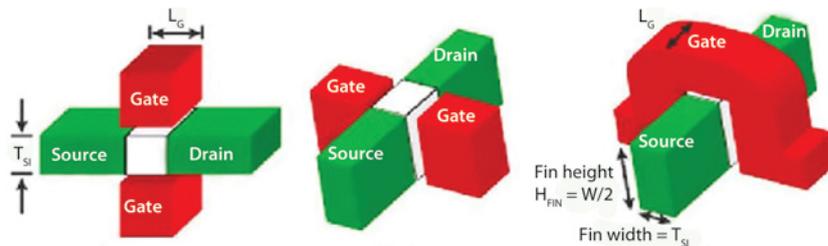


Рис. 2. Структура с двойным затвором планарного FET при вращении помогает сформировать FinFET

Source — исток; Gate — затвор; Drain — сток

IP, как изменение длины канала или смещение подложки, либо гораздо более ограниченные, либо приносят мало пользы из-за внутренних особенностей технологии FinFET.

Нельзя не принимать во внимание и сложность модели. Поскольку FinFET является трехмерной структурой, она больше составных сопротивлений и емкостей по сравнению с планарной структурой. Трехмерная структура требует более сложных моделей и большей работы с данными, чем планарные транзисторы. Такая сложность сказывается на всей процедуре проектирования ИС, включая извлечение параметров, разработку топологии, проверку правил дизайна (DRC, design rule checks) и соответствия топологии электрической схеме (LVS, layout versus schematic).

РОЛЬ ОПЫТА

Когда дело доходит до разработки IP, необходим опыт, чтобы «выжать» максимум из технологии FinFET. Например, Synopsys использовала характерное низкое рабочее напряжение FinFET для разработки памяти с низким напряжением хранения.

Другим существенным моментом, определяющим характеристики транзистора, является профиль механических напряжений, которые намеренно вводятся в устройство для увеличения производительности. Из-за вертикального затвора профиль напряжений транзистора FinFET значительно отличается от профиля плоского транзистора.

Задача фабрики — сделать переход к FinFET как можно более прозрачным, так, чтобы пользователи могли легко масштабировать разработки на все меньшие техпроцессы. FinFET требует некоторых специальных усовершенствований следующих инструментов:

- TCAD;
- синтеза масок;
- модели транзисторов;
- Spice-моделирования;
- извлечения параметров R/C;
- физической верификации.

ИНСТРУМЕНТЫ TCAD

В настоящее время разрабатываются технологии обработки пластин с

целью использования всего потенциала 3D-транзисторов. Они будут контролируемым образом легировать боковые стороны затвора и создавать механические напряжения на затворе с целью повышения производительности устройства. Для поддержки этих усилий фабрики используют инструменты TCAD в процессе разработки для управления и оптимизации процесса производства.

Необходимость 3D-моделирования TCAD так же очевидна, как и в процессе оптимизации ячеек SRAM, где эффекты напряжений и контактного легирования требуют, чтобы все SRAM-транзисторы моделировались в единой структуре. Последние достижения в области генерации 3D-структур, сеток и параллельные алгоритмы делают это возможным.

Из-за малых размеров FinFET появляются опасения по поводу влияния технологических параметров на работу устройства и цепи. В то время как в техпроцессах большого размера эти эффекты были незначительными, сейчас они становятся эффектами первого порядка. Возникшие в результате случайных колебаний концентрации примесей, неровностей кромки линии, конструктивных напряжений и других вариаций процесса, они проявляются в характеристиках устройств, в частности, в сдвигах порогового напряжения и локальных токах, влияющих на тайминги и мощность. Инструменты TCAD моделируют эти эффекты и в конечном счете помогают построить модели устройств, используемые в инструментах EDA.

С 2005 г. компания Synopsys внедрила программное обеспечение TCAD Sentaurus в исследования и разработки FinFET на фабриках, у производителей интегрированных устройств, в исследовательских университетах, и в результате этого сотрудничества внесла очень сложные поправки в свои инструменты. Уточнения коснулись изменения фирменной модели плазменного легирования, пространственной оптимизации затвора с целью улучшения производительности. Например, Sentaurus может выполнять 3D-моделирование p-канальных FinFET (см. рис. 3).

Новые возможности анализа сигналов

Цифровые осциллографы Rohde & Schwarz Серия RTO

- ПО для измерения NFC
- Демодуляция сигналов на I/Q
- Испытания на соответствие USB 2.0
- Уникальный логический пробник RTO-B1



Rohde & Schwarz в России

г. Москва +7 (495) 981-35-60
г. Санкт-Петербург +7 (812) 448-65-08
г. Новосибирск +7 (383) 230-39-91
г. Нижний Новгород +7 (831) 233-03-00
г. Ростов-на-Дону +7 (863) 206-20-29

www.rohde-schwarz.ru

РЕКЛАМА


ROHDE & SCHWARZ



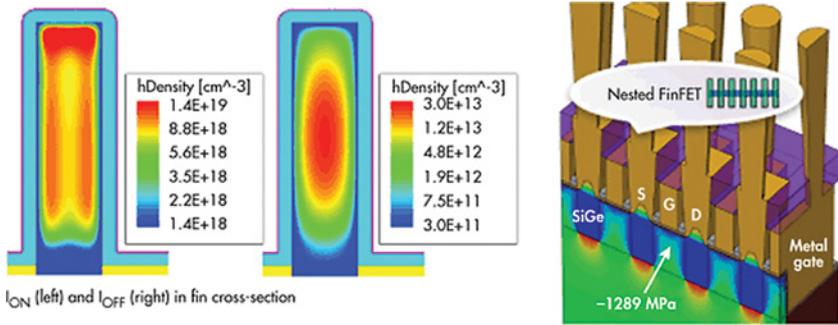


Рис. 3. Поля напряжений p-канального FinFET смоделированы TCAD Sentaurus компании Synopsys

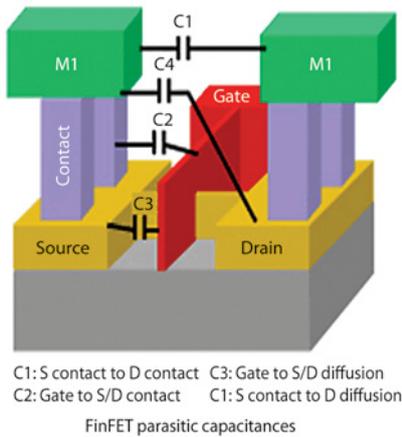


Рис. 4. Конструкция FinFET вводит новые паразитные компоненты, которые должны быть смоделированы и оценены

Source — исток (И); Drain — сток (С); Gate — затвор (З); Contact — контакт; C1: S contact to D contact — между контактами сток-исток; C2: Gate to S/D contact — между затвором и контактами С/И; C3: Gate to S/D diffusion — диффузия от затвора к С/И; C1: S contact to D diffusion — диффузия от С к И; FinFET parasitic capacitances — паразитные емкости FinFET

СИНТЕЗ МАСОК

При синтезе масок, ключевом компоненте передового производства, происходит пост-обработка топологий, полученных при помощи инструментов EDA, и компенсация ограничений и эффектов

производственного процесса литографии. Ожидается, что усовершенствованная геометрия, предназначенная для FinFET, потребует самосовмещенного двойного структурирования на этапах осаждения для создания fin-затвора, а не литографического определения затвора. Поскольку fin-затворы высокие и тонкие, традиционные литографические и OPC методы приведут к проблемам с неровностью граней.

МОДЕЛИ ТРАНЗИСТОРА

FinFET создает гораздо больше сложностей для определения сопротивлений и паразитной емкости. Необходима дополнительная информация о модели для сопротивлений истока-стока, краевых эффектов контактных сопротивлений, а также большего числа емкостей связи для трехмерных структур. Новые модели поведения включены в последние стандартизованные модели, используемые Spice-симуляторами. Например, Spice-симуляторы используют короткоканальную модель IGFET (Беркли) для компактной модели общего мультизатвора (BSIM-CMG) с целью обеспечения точного моделирования разработок с FinFET.

Корректность и точность новых моделей BSIM-CMG подтверждена на

FinFET-фабриках, использовавших симуляторы Spice и FastSPICE компании Synopsys. Это основные инструменты для разработки библиотек и цепей на уровне транзисторов. Помимо поддержки модели BSIM-CMG Synopsys разработала также HSPICE и FineSim SPICE для обеспечения полной точности Spice, а также CustomSim и FineSim Pro для FastSPICE.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЕМКОСТИ (RC)

3D-природа FinFET и многочисленные ребра, составляющие транзисторы, создают много новых паразитных сопротивлений и емкостей, которые должны быть рассмотрены, смоделированы и оценены (см. рис. 4). Моделирование межсоединений полупроводников стандартизовано в формате технологии межсоединений с открытым исходным кодом ITF, которая была недавно расширена путем добавления требований FinFET.

С этой целью Synopsys расширила свой инструмент StarRC для поддержки новых моделей ITF при извлечении параметров конструкций на основе FinFET. StarRC сертифицирован ведущими FinFET фабриками и стал промышленным стандартом.

ИНСТРУМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ

Технология FinFET влияет и на физическую верификацию. Новые тесты используются в инструментах физической верификации для проверки корректности LVS и DRC. Для FinFET требуется расширение программ LVS с целью поддержки распознавания новых устройств в макете, извлечения параметров и выявления эффектов близости. Кроме того, расширения LVS включают новые расчеты сопротивления исток-сток. В последние правила проектирования также будут введены шаг между затворами и ширина fin-затвора. Для поддержки LVS и DRC для FinFET компания Synopsys усилила свой инструмент физической верификации IC Validator. В настоящее время время он используется при разработке IP и проектов на основе FinFET.

Инструментальная платформа TCAD и Galaxy, включающая IC Compiler, Galaxy Custom Designer и PrimeTime, уже была использована для подготовки и передачи в производство макетов и тестовых чипов на 3D FET. Весь маршрут проектирования — от замысла до реализации — включает Spice-моделирование, извлечение параметров и физическое проектирование ИС (см. рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Jamil Kawa and Andy Biddle *FinFETs Herald A Seismic Shift In Semiconductor Technology*// <http://electronicdesign.com>.

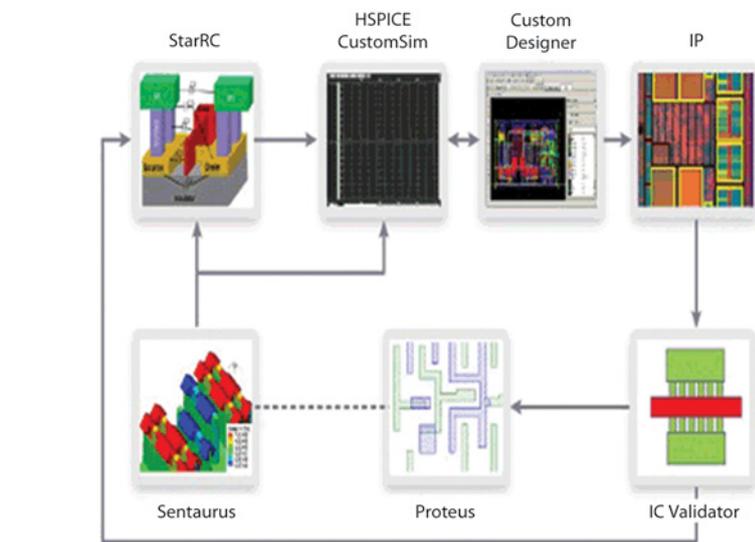


Рис. 5. Spice-моделирование, извлечение параметров и физическое проектирование включены в маршрут проектирования FinFET компании Synopsys

ОБЗОР СТАНДАРТА СВЯЗИ LTE. Часть 5. Ретрансляция сигнала в LTE Advanced и технологии 5G

НИКИТА БОЧКАРЕВ, инженер, nikb67@yandex.ru

Цикл статей посвящен стандартам связи LTE 3G и 4G. В последней части рассмотрена технология ретрансляции сигналов в LTE Advanced. Описаны принципы, которые будут заложены в системах связи пятого поколения (5G).

РЕТРАНСЛЯЦИЯ СИГНАЛА

В LTE Advanced применяется ретрансляция сигнала. Узел-ретранслятор является промежуточным звеном между абонентским устройством и базовой станцией. Базовая станция может обслуживать несколько узлов-ретрансляторов, а также абонентские терминалы напрямую (см. рис.1).

Ретранслятор может функционировать на различных уровнях: физическом (усиление сигнала базовой станции), канальном (перекодирование получаемого сигнала и повышение качества связи в обслуживаемой зоне) и сеансовом (установление сеансов связи и осуществление процедуры хендовера).

В отличие от повторителя ретранслятор производит коррекцию ошибок в принятом сигнале. Опционально ретранслятор может выполнять более сложные операции, например, перекодирование сигнала. Преимущество ретранслятора перед базовой станцией заключается в отсутствии подключения к транспортной сети, простоте установки и меньшей стоимости.

Рассмотрим случаи использования ретрансляторов.

Увеличение плотности сети. Ретрансляторы удобно использовать в случаях, когда емкость сети необходимо увеличить за счет увеличения количества базовых станций. Ретрансляторы не требуют подключения к транспортной сети, они небольшие, поэтому их проще устанавливать на фонарных столбах, стенах и т.д.

Увеличение покрытия сети. Ретрансляторы могут закрыть небольшую зону, до которой не доходит сигнал базовой станции (см. рис. 2).

Ретрансляторы могут использоваться для увеличения зоны покрытия вне основной области. Если антенны обладают достаточным усилением и установлены в нужном направлении, ретрансляторы будут обеспечивать хорошую связь и требуемое покрытие. Каскадирование

(последовательное соединение) ретрансляторов позволяет значительно увеличить покрытие (см. рис. 3).

Быстрое разворачивание сетей. Поскольку для ретрансляторов не требуются транспортные сети, их удобно использовать при первичном развертывании сетей. Базовые станции можно установить позже, когда возрастет объем передаваемых данных.

Ретрансляторы поддерживают полудуплексную и дуплексную передачу.

В полудуплексных системах возможна передача только в одном направлении, в дуплексных — в обоих направлениях одновременно. В полудуплексных системах для ретранслятора требуется тщательное планирование передач. Ретрансляционный узел должен координировать назначение ресурсов совместно с мобильным терминалом в восходящем канале и базовой станцией — в нисходящем.

В дуплексных системах передача и прием осуществляются одновременно, как правило, на одной частоте. Ретрансляторы принимают сигнал, обрабатывают его и затем передают на

той же частоте с малой задержкой по сравнению с длиной пакета. Для обеспечения дуплексного режима требуется хорошая изоляция приемных и передающих антенн.

ТИПЫ РЕТРАНСЛЯТОРОВ

Ретрансляторы могут работать в двух режимах: внутри полосы связи с базовой станцией производится на той же несущей, что и между ретранслятором и терминалом пользователя. Во втором режиме (в разных полосах) связь между ретранслятором и базовой станцией, а также между ретранслятором и мобильным терминалом обеспечивается на разных несущих.

Типы ретрансляторов (см. табл. 1):

- Тип 1. Ретрансляторы данного типа имеют собственные идентификационные параметры (ID), которые используются при управлении сотой. Например, они передают собственные сигналы синхронизации и референсные символы. Ретрансляторы первого типа работают так, как базовые станции LTE (редакция 8) для

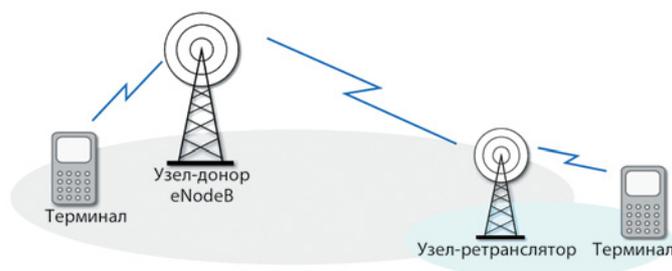


Рис. 1. Технология ретрансляции

Таблица 1. Классификация ретрансляторов в сети LTE-Advanced

Класс ретранслятора	Собственный ID	Тип передачи
1	Есть	Полудуплексная, на одной несущей
1.a	Есть	Дуплексная, на разных несущих
1.b	Есть	Дуплексная, на одной несущей
2	Нет	Дуплексная, на одной несущей

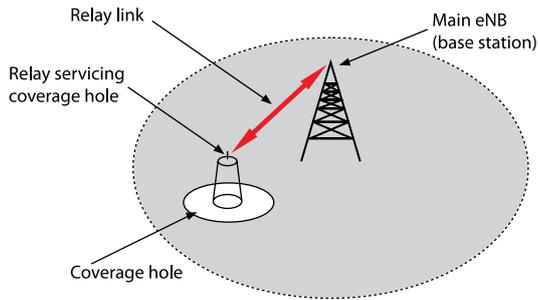


Рис. 2. Устранение непокрытых участков в ячейке LTE с помощью ретранслятора

Coverage hole — непокрытый участок; Relay servicing coverage hole — ретранслятор, обслуживающий участок; relay link — линия связи с ретранслятором; main eNB (base station) — главная базовая станция (eNB)

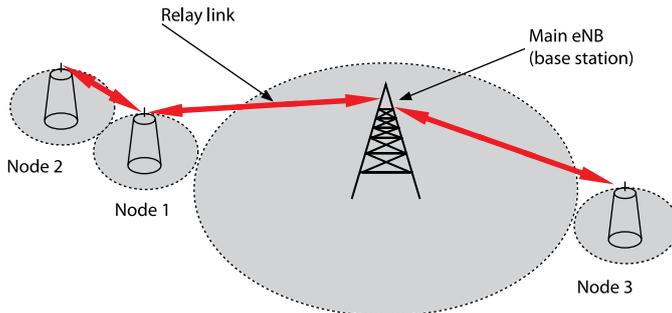


Рис. 3. Увеличение зоны покрытия с помощью ретранслятора

Relay link — линия связи с ретранслятором; Main eNB (base station) — главная базовая станция (eNB); Node — узел

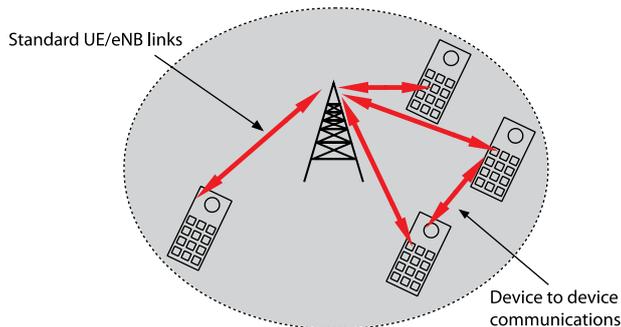


Рис. 4. Концепция прямой связи LTE D2D

Standard UE/ eNB links — стандартные линии связи; Device to device communications — связи D2D

оборудования пользователя LTE. Это гарантирует обратную совместимость. Ретрансляторы типа 1 выполняют полудуплексную передачу внутри полосы. В этой категории выделено два подтипа: 1.a — ретрансляционные узлы, передающие на разных несущих и поддерживающие дуплексную передачу; 1.b — ретрансляторы, осуществляющие передачу на одной несущей. Антенны на линиях базовая станция — ретранслятор и ретранслятор — терминал пользователя изолированы за счет пространственного разнесения и выбора направленности. В них могут быть предусмотрены функции обработки сигнала, однако при этом увеличивается стоимость. Характеристики этих ретрансляторов аналогичны характеристикам фемтоячеек.

– Тип 2. Ретрансляционные узлы не имеют собственных ID. Терминалы пользователя внутри зоны покрытия не способны отличить ретранслятор от главной базовой станции внутри ячейки. Управляющая информация передается от базовой станции, данные пользователя — от ретранслятора.

Однако для реализации механизма ретрансляции в LTE Advanced предстоит решить еще много проблем.

D2D — DEVICE TO DEVICE

Рассмотрим концепцию связи между устройствами (D2D — Device to Device). Это технология прямой передачи данных между устройствами (т.е. терминалами пользователя и другими, см. рис. 4) внутри соты. Она позволяет пересылать большие объемы информации от

одного узла другому на короткие расстояния, используя прямое соединение и снижая нагрузку на сеть.

Поскольку связь LTE осуществляется в нелицензируемом спектре, использовать прямые соединения выгодно как операторам, так и пользователям. Достоинства D2D:

- сеть объявляет о наличии возможности прямого соединения LTE-устройств;
- устройствам не нужно производить поиск доступных беспроводных сетей WLAN, что сокращает потребление мощности;
- защищенная передача ключей безопасности.

ГЕТЕРОГЕННЫЕ СЕТИ HETNET

Объем данных в сети постоянно растет, а требования к скорости передачи повышаются. Соответственно, в какой-то момент возникает насыщение сети и необходимость модернизации. Частично данная проблема может быть решена за счет методик уплотнения. Более эффективным подходом является установка дополнительных маломощных пикосот (ячеек меньшего размера), которые расширяют возможности сети. Развертывание подобных гетерогенных (или неоднородных) сетей (HetNet) в существующих сетях мобильной связи реально уже в настоящее время. При этом в LTE Advanced реализованы функции, которые могут быть использованы для дополнительного подавления взаимных помех от сот разных уровней, что расширяет возможности применения HetNet.

Гетерогенные сети LTE–HetNet позволяют операторам существенно увеличить емкость данных во всех ячейках сети, одновременно уменьшая издержки на бит данных.

Основными преимуществами сетей HetNet являются:

- увеличение емкости сети и улучшение качества покрытия за счет размещения малых сот в зоне покрытия базовой станции, что позволяет многократно использовать выделенный спектр;
- возможность использования сетей радиодоступа (RAN), выполненных на другом оборудовании, отличном от оборудования в опорной сети;
- возможность использования хотспотов Wi-Fi для динамической разгрузки трафика;
- уменьшение затрат на содержание сети;
- отсутствие проблемы организации радиопокрытия внутри зданий.

Существенным недостатком сетей HetNet является дополнительная и достаточно большая нагрузка на транспортную сеть, расходы на которую,

по прогнозам ARCchart, вырастут до 13 млрд долл. уже к концу 2017 г.

ДРОБЛЕНИЕ ЯЧЕЕК

Дробление сот, т.е. переход к меньшим ячейкам, в зонах с интенсивной нагрузкой при сохранении прежнего коэффициента повторного использования частот позволяет увеличить емкость сотовой сети. Количество базовых станций при этом соответственно увеличивается, а мощность излучения снижается. Тот же эффект достигается при использовании на базовой станции секторных антенн, например, с делением соты на три сектора (при 120-градусных секторах) и использованием в каждом из секторов своей полосы частот.

С практической точки зрения соты с радиусом меньше 300–500 м неудобны, т.к. чрезмерно возрастает поток служебных передач. Выход может быть найден в использовании многоуровневых (иерархических) схем построения сотовой сети с обслуживанием в больших ячейках (макросотах) абонентов, которые быстро перемещаются (автомобилистов), а в более мелких (микросоты, пикосоты) — малоподвижных абонентов, например, покупателей в пределах торгового центра.

Если объем передаваемых данных настолько мал, что не обеспечивает

достаточной загрузки базовой станции, то соты следует укрупнить. Если при этом радиус соты превышает номинальную дальность действия передатчика базовой станции или мобильного терминала, то применяют повторители или ретрансляторы.

Операторы не торопятся разворачивать гетерогенные сети, предпочитая менее затратный путь — развертывание LTE-сетей поверх существующих 2G и 3G. Соответственно, исходная конфигурация сети LTE повторяет предшествующую структуру. Впоследствии она оптимизируется с использованием всех доступных инструментов. Отмечается, что использование 1–3 малых ячеек в 30% секторов позволяет удвоить емкость сети, а в отдельных случаях и утроить ее без использования дополнительных частот.

СЛЕДУЮЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ СВЯЗИ — 5G

Каждое поколение связи превосходит по характеристикам предыдущее.

Первое поколение — 1G. Первые сотовые телефоны были аналоговыми. Они характеризуются крайне неэффективным использованием спектра и низким уровнем защиты.

Второе поколение — 2G. Применение цифровых технологий позволило существенно повысить эффективность

использования спектра и безопасность, а также расширило функционал (отправка текстовых сообщений и передача данных на низкой скорости).

Третье поколение — 3G. Главной целью на данной стадии развития сотовой связи стало повышение скорости передачи данных до 14 Мбит/с и выше.

Четвертое поколение — 4G. Передача данных обеспечивается IP-протоколами. Скорость передачи достигает 1 Гбит/с.

Технологии пятого поколения должны предоставлять существенное улучшение связи, чтобы они были оправданы с экономической точки зрения и привлекали инвесторов.

Основной недостаток существующих сетей заключается в отсутствии покрытия, обрыве связи и плохих условиях связи на границе ячейки. Технологии 5G будут обеспечивать более высокие уровни связности и более качественное покрытие. В настоящее время для 5G предлагается термин WWW — World Wide Wireless Web («глобальная беспроводная паутина»).

Разрабатывается несколько концепций связи 5G. Рассмотрим некоторые из них.

Проникающие сети (Pervasive networks). Данная технология предполагает одновременное подключение пользователя к нескольким беспроводным

**TRACO
POWER**

AC/DC-преобразователи мощностью 100 Вт в закрытом корпусе

Серия TML-100C

Высокоэффективное и легко устанавливаемое решение для промышленного оборудования и распределенных систем питания



- Компактный низкопрофильный корпус
- Активный корректор коэффициента мощности
- Высочайший КПД в широком диапазоне нагрузок
- Функция удаленного включения/выключения
- Сигнал "DC-OK"
- Выходные напряжения 12, 15, 24, 48 В DC с возможностью подстройки в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения

www.tracopower.com

Аргуссофт +7 495 660-2855
ПетроИнТрейд +7 812 324-6350
СЭА Электроникс +7 495 228-3282

www.argussoft.ru
www.petrointrade.ru
www.searu.com

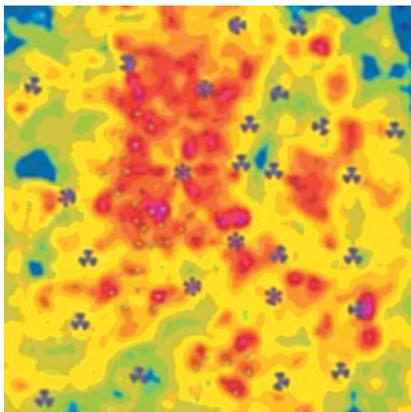


Рис. 5. Карта загруженности сети LTE

сетям доступа и бесшовное переключение между ними.

Групповая ретрансляция (Group cooperative relay). Поддерживает высокую скорость передачи данных на большей области в соте. В настоящее время скорость передачи ниспадает от центра соты к границе из-за увеличения интерференционных помех и затухания полезного сигнала.

Когнитивные сети (Cognitive radio technology). Когнитивные технологии позволяют оборудованию пользователя анализировать доступные радиосети и выбирать оптимальную сеть доступа, тип модуляции и другие параметры, необходимые для настройки соединения.

Беспроводные ячеистые сети и динамические специализированные сети. Разнообразие методов доступа позволяет создавать специализированные беспроводные сети для более быстрого обмена данными.

VFDM (мультиплексирование с частотным разделением в подпространствах Вандермонда). Одна из альтернатив OFDM, характеризующаяся большей гибкостью и эффективностью.

Интеллектуальные антенны, способные изменять направление луча.

Есть и другие методики и технологии, которые будут применяться в

системах связи пятого поколения и старше. Многие из них еще только разрабатываются, другие проходят процедуру стандартизации. Четкие требования к системам 5G пока не установлены.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЕТИ

Операторы мобильной связи собирают статистику сети на уровне базовых станций. По мере развития сетей мобильной связи операторам требуется все более детальная информация о производительности и загрузке. На основе этих данных они улучшают покрытие, равномерно распределяют нагрузку и улучшают качество предоставления услуг.

В сетях третьего поколения для этой задачи разработан ряд решений. Это в первую очередь системы визуализации. Они, вероятно, перейдут и в последующие поколения. Когда сеть LTE развернута, оператор должен выбрать, какие области имеют более высокий приоритет и максимальную емкость. В таких областях используются малые ячейки.

Второй аспект связан с обратной совместимостью, устаревшей инфраструктурой. Инструменты визуализации позволяют получить данные о производительности, которые необходимы при принятии решения о модернизации. Например, операторы пользуются «картой нагрева» сети 3G, на которой загрузка сети в конкретной области показана цветом (см. рис. 5).

Можно выделить участки с высокой загрузкой, на которых необходимо использовать новые сети LTE. Ситуация в сети отображается в режиме реального времени, поэтому можно мгновенно выявлять проблемные участки и устранять их.

Инструменты визуализации позволяют упростить процесс оптимизации сети и обойтись без дорогостоящего процесса тестирования загрузки сети на автомобиле или анализа обращений

пользователей в службу поддержки.

Тестирование загрузки сети на автомобиле заключается в том, что автомобиль, оснащенный измерительным оборудованием, объезжает всю область покрытия и фиксирует параметры связи. Инструменты визуализации позволяют оптимизировать этот процесс и повысить его эффективность. Показатели для голосовых вызовов и потока данных предоставляются отдельно.

Инструменты визуализации и оптимизации позволяют оптимизировать сеть, планировать загрузку малых ячеек, гарантировать абонентское обслуживание на высоком уровне, вести учет устройств, управление взаимозависимостью сетей 3G и 4G. Кроме того, визуализация помогает понять процессы, происходящие в переходных между 3G и 4G зонах, и установить пороги, обеспечивающие качественную связь.

Инструменты визуализации помогают анализировать взаимную работу сетей 2G, 3G и 4G. Например, в случае использования стандарта VoLTE для голосовой связи на время звонка абонент переводится из сети LTE-Advanced в сеть 3G или 2G, а затем – обратно. Если передача данных остается активной после окончания голосового вызова, сессия останется в сети 2G или 3G до завершения. При этом абонент не сможет воспользоваться преимуществами 4G. Кроме того, замедлится работа и второго абонента, участвующего в обмене. Это сложный процесс, и оптимизировать его удастся только с помощью средств визуализации. Таким образом, инструменты визуализации обеспечивают максимально бесшовный переход на сети LTE и LTE Advanced.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.radio-electronics.com.
2. www.3gpp.org.

ВАКАНСИЯ

| КОНКУРС НА ЗАМЕЩЕНИЕ ДОЛЖНОСТИ НАЧАЛЬНИКА РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ |

ОАО «Плутон», ведущее российское предприятие и один из мировых лидеров в области разработки и производства электровакуумных приборов СВЧ-диапазона, проводит конкурс на замещение должности начальника радиотехнической лаборатории по разработке модуляторов контрольно-испытательного оборудования.

Для принятия участия в конкурсе необходимо представить следующие документы:

- заявление об участии;
- автобиографию;
- копии документов о высшем профессиональном образовании;
- сведения о научной (научно-организационной) работе за последние пять лет.

Электронный адрес для представления заявок и документов: kadry@pluton.msk.ru

Срок приема документов — 2 месяца со дня опубликования объявления.

Справки и дополнительная информация по тел.:

+7(495) 916-87-93, +7(495) 916-87-08, +7 (495) 916-87-69

Адрес ОАО «Плутон»: 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11.

www.pluton.msk.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО РАДИО

Т.В.Б. СУБРАМАНИАМ (T.V.B. SUBRAHMANYAM), МОХАМЕД ЧАЛИЛ (MOHAMMED CHALIL), Analog Devices

В статье описана структура цифрового радио на основе процессора Blackfin. Рассмотрены основные инструменты обработки аудиосигнала, применяемые в стандартах AAC и DRM.

ИСТОРИЯ ЦИФРОВОГО РАДИО

Основным форматом вещания радиосигнала в начале 80-х гг. прошлого века была амплитудная модуляция (AM). Качество принятого сигнала было невысоким из-за затухания в канале, искажений и шумов. Частично эти эффекты удалось устранить с переходом на частотную модуляцию. Частотно-модулированный сигнал обеспечивает звучание CD-качества и имеет ограниченную зону распространения. В 2003 г. две молодые компании — XM и Sirius (впоследствии они объединились в SiriusXM) — совершили прорыв в развитии цифрового спутникового радиовещания в США. Доход от новой технологии можно сравнить с доходом каналов платного телевидения. В это же время WordSpace Radio начало вещание на территории Азии и Африки.

Звуковые сервисы спутникового радио (SDARS — Satellite Digital Audio Radio Services) позволяют непрерывно слушать одну и ту же радиостанцию в автомобиле в любой точке зоны покрытия за исключением возможной потери сигнала из-за препятствий (зданий, туннелей, листвы деревьев).

В радиоприемниках XM данная проблема была решена за счет установки наземных репитеров, которые передавали тот же сигнал в условиях плотной городской застройки. Сеть вещания имела смешанную архитектуру, состоящую из спутникового и наземного оборудования.

Примерно в это же время ведущие компании в области наземного вещания также стали осваивать технологию цифрового радио, и этому способствовали две причины. Во-первых, они понимали, что эра аналогового радио подходит к концу, весь мир переходит на цифровое вещание как более качественное. Во-вторых, частотный спектр становится все более дефицитным, а цифровые методы обработки позволяют сжать данные, разместив больше информации на отведенной полосе.

Цифровой способ вещания обеспечивает более чистый сигнал, большую зону покрытия, возможность упаковки большего объема информации на выделенной полосе. Кроме того, пользователи получают больше возможностей для доступа к прослушиванию программ (см. рис. 1).

ОПЫТ ИНДИИ

Разработано два открытых стандарта наземного вещания: DMB (Digital Multimedia Broadcasting) и DRM (Digital Radio Mondiale). Стандарт DMB определяет несколько форматов цифрового вещания радиосигнала, в т.ч. DAB, DAB+ и T-DMB, которые используют полосы VHF III и L. Стандартом DRM предусмотрена полоса DRM30, от 150 кГц до 30 МГц, и DRM+ — в диапазонах VHF I, II и III.

Распространение сигнала в диапазонах VHF существенно ограничивается зоной прямой видимости в пределах небольшого географического региона. На коротких волнах сигнал попадает практически в любую точку мира из-за многочисленных отражений в ионосфере. В густонаселенных странах с небольшой территорией передача в формате DMB на полосах VHF III и L производится очень эффективно. Для крупных стран рекомендуется использовать короткие и средние волны. После испытаний, проходивших в течение нескольких лет, в Индии был принят стандарт DRM, а не DAB.

В 2007 г. в Нью Дели прошло первое полевое испытание системы DRM. В эксперименте принимали участие организации All India Radio (AIR), Asia-Pacific Broadcasting Union (ABU) и консорциум DRM. Непрерывная трансляция велась в течение трех дней тремя передатчиками. Измерялись все основные параметры сигнала. Одновременно AIR проводила аналогичные измерения на больших расстояниях. Выяснилось, что стандарт DRM обеспечивает преимущества при обслуживании больших территорий с ограниченным количеством передатчиков. Предусмотренные в нем методы энергосбережения позволяют снизить потребление. Эффективность преобразования энергии в системах DRM на 50% выше, чем в остальных.

Появление мощных и эффективных сигнальных процессоров и достижения в теории информации и передачи данных привели к слиянию медиатехнологий и средств передачи данных.

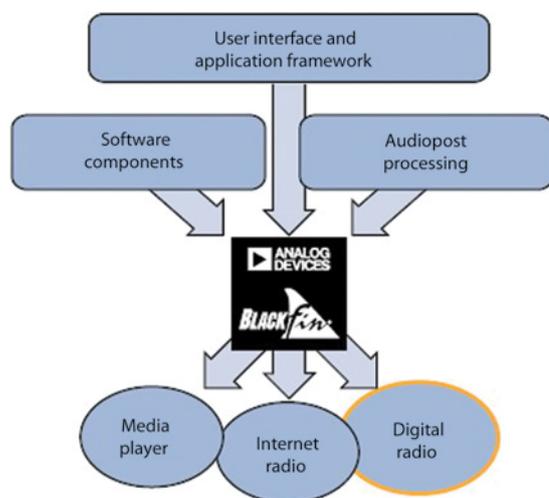


Рис. 1. Цифровое радио и ресурсы процессора

User interface and application framework — интерфейс пользователя и базовая часть приложения; Software components — программные компоненты; Audiopost processing — постобработка звука; Media player — медиаплеер; Internet radio — интернет радио; Digital radio — цифровое радио

Цифровые радиоприемники, как большинство новых устройств, изначально собирались на дискретных компонентах. По мере расширения рынка и усиления конкуренции производители снижали цены и увеличивали объемы производства, переходя на интегральные схемы.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА

Типичная структура цифровой коммуникационной системы показана на рисунке 2. Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и сжимается. Затем производится кодирование с коррекцией ошибок, и группируется несколько сигналов для более эффективного использования канала. Цифровой сигнал преобразуется в аналоговый и модулируется на несущей частоте, после чего осуществляется передача. В приемнике производится обратное преобразование: демодуляция несущей, преобразование сигнала в цифровой, поиск ошибок, декомпрессия. Далее сигнал снова преобразуется в аналоговый и воспроизводится.

Обработку сигнала в приемнике можно разделить на несколько стадий: декодирование канала, декодирование источника, постобработка аудиосигнала, промежуточная обработка и вывод информации пользователю (MMI).

Кодирование источника и канала могут быть выполнены в аудиокодеке и схеме контроля ошибок. Контроль ошибок осуществляется эффективнее, если в кодеке предусмотрена возможность коррекции ошибок. Идеальный кодер канала должен быть нечувствителен к ошибкам передачи. Идеальный кодер источника должен максимально сжимать сообщение (шенноновская энтропия), однако сильно сжатые сообщения приводят к искажению звукового сигнала, особенно если входной поток содержит ошибки. Таким образом кодирование источника должно гарантировать, что декодер может обнаружить ошибки в потоке и скрыть их влияние, чтобы общее качество звука оставалось приемлемым.

В стандарте DRM качество звукового сигнала улучшено за счет технологических инноваций в кодировании источника и канала. Алгоритм кодирования источника гарантирует более низкую скорость передачи и высокое качество звука, а также нечувствительность к ошибкам.

ЭФФЕКТИВНОЕ КОДИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА

В широкоэмиттерных системах и системах хранения и распределения звуковых файлов с успехом применяются форматы MPEG Layer II, mp3 и AAC.

Стандарт mp3 остается самым популярным неофициальным стандартом для распространения и хранения записей, хотя компания Apple для iPod выбрала формат AAC. Это повысило внимание к нему.

Рассмотрим основные технологии, используемые при кодировании источника, на примере стандарта AAC. Во-первых, разработана психоакусти-

ческая модель (см. рис. 3) и удалены побочные НЧ-составляющие во временном домене (технология TDAC).

Следующими технологиями являются копирование спектральных полос (SBR, см рис. 4) и пространственное аудиокодирование или бинауральное кодирование сигнала (BCC — binaural cue coding). Они обеспечили масштабируемое кодирование и легли в

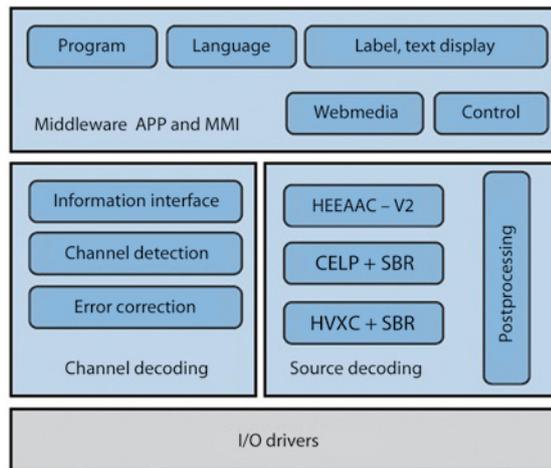


Рис. 2. Программная архитектура цифрового радио

Program — программа; Language — язык; Label, text display — метка, текстовый дисплей; Middleware APP and MMI — промежуточное ПО и интерфейс пользователя; Webmedia — медиасервисы; Control — управление; Information interface — вывод данных; Channel detection — обнаружение канала; Error correction — коррекция ошибок; Channel decoding — декодирование канала; Source decoding — декодирование источника; Postprocessing — постобработка; I/O drivers — драйверы ввода-вывода

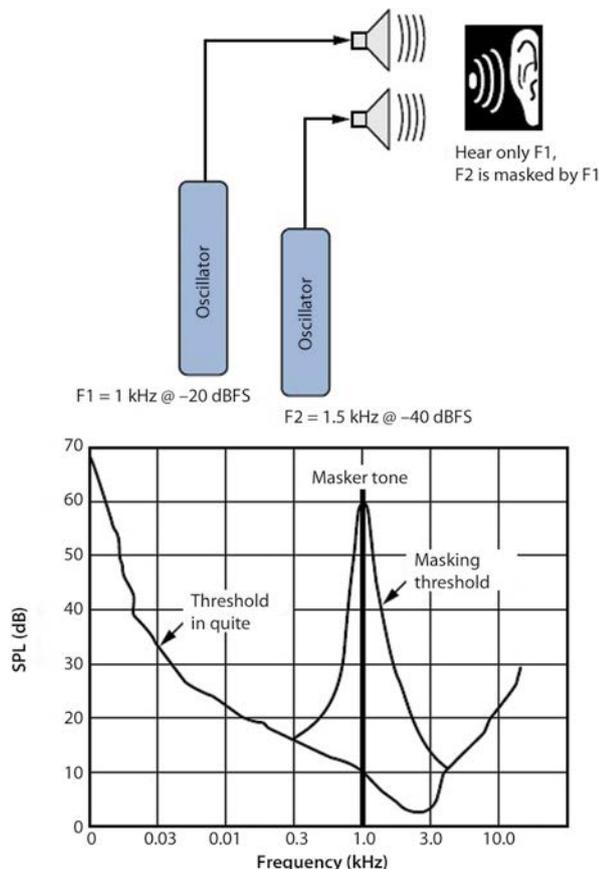


Рис. 3. Психоакустическое маскирование

Oscillator — резонатор; Hear only F1 — слышится только F1, частота F2 замаскирована; Masker tone — маскировочная частота; Threshold in quiet — порог в тишине; Masking threshold — порог маскирования; Frequency — частота

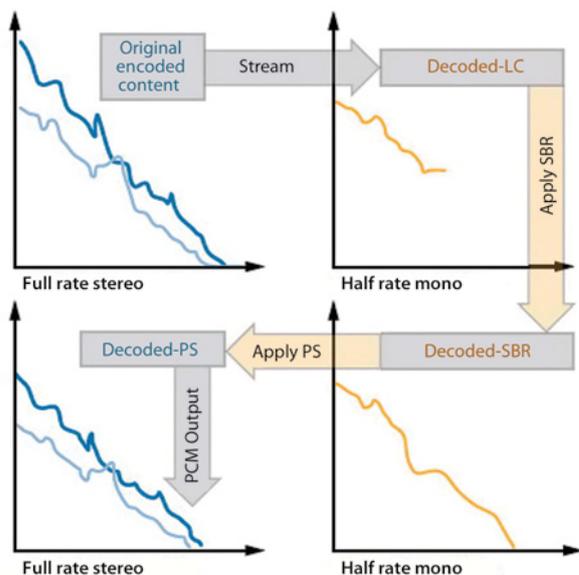


Рис. 4. Операции AAC-LR, SBR и PS

Original encoded content — исходный контент; Stream — поток; Full rate stereo — стереосигнал, полная скорость; Decoded — декодирование; Apply — применение; PCM Output — выход PCM; Half rate mono — моносигнал, половинная скорость

основу стандартов HE-AAC v2 и MPEG Surround. Похожие технологии применены в таких стандартах как Dolby, AC3 и WMA. Инструмент дублирования спектральной полосы SBR удваивает декодированную частоту выборки, соответствующую частоте выборки AAC-LC. Инструмент параметрического стерео (PS) декодирует стереосигнал из монопотока LC.

Немаловажное значение имеют технологии измерения. Инструменты оценки качества и стандарты, такие как оценка восприятия сигнала (PEAQ — perceptual evaluation of audio quality) и оценка воздействий (MUSHRA — multi-stimulus with hidden reference and anchor), помогают ускорить интерпретацию результатов технологических экспериментов.

УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОЯВЛЕНИЮ ОШИБОК

Как правило, сильное сжатие приводит к большему искажению звука при заданном уровне появления ошибок. Например, поток MPEG Layer II более устойчив к появлению систематических ошибок, чем поток AAC. Единичные ошибки в сигнале MPEG Layer II не вызывают негативных последствий. В случае сигнала AAC те же единичные ошибки приводят к неисправности декодера Хаффмана, и ошибки будут замаскированы. При появлении периодически повторяющихся ошибок звуковой сигнал отключается до тех пор, пока вероятность появления ошибки не уменьшится до минимального значения. Паузы в звучании предотвращают

постепенное ухудшение качества звука.

Устойчивость к ошибкам в стандарте AAC обеспечена с помощью следующих инструментов:

- HCR (Huffman codeword reordering) — перестановщик слов Хаффмана. Распространение ошибок внутри спектра предотвращается путем деления данных на сегменты фиксированного размера. Наиболее важные данные располагаются в начале сегмента;
- VCB11 (virtual codebooks for codebook 11) — виртуальный кодовый словарь для словаря 11. Обнаруживает серьезные ошибки внутри спектральных данных с помощью отображения кодовых слов;
- RVLC (reversible variable length coding) — реверсивное кодирование с переменной длиной слова. Предотвращает распространение ошибок при передаче коэффициента масштабирования.

В стандарте DRM устойчивость к появлению ошибок помимо перечисленных инструментов обеспечивает методика неравномерной защиты от ошибок (UEP).

СТАНДАРТ DRM

Digital Radio Mondiale (DRM) — открытый стандарт ETSI для цифровой узкополосной передачи аудио на коротких и средних волнах. DRM поддерживает полосы 4,5 кГц, 5 кГц, 9 кГц, 10 кГц, 18 кГц, 20 кГц и имеет 4 режима передачи и приема. Для обеспечения совместимости со стандартом AM частотная полоса и скорость появления ошибок не должны превышать 10 кГц и 24 кбит/с соответственно (см. табл. 1). При этом следует использовать эффективное кодирование HE-AAC v2.

Помимо технологий, применяемых в AAC, в стандарте DRM для передачи речи используются кодеки HVXC (возбуждение вектора гармоник) и CELP (возбуждаемое кодом линейное предсказание). Их основные характеристики приведены в таблице 2. Стандарт позволяет также передавать несжатые данные для слайдшоу, HTML-страниц и т.д.

Таблица 1. Полоса и скорость передачи в DRM

Полоса на 30 МГц	Полоса, кГц	Скорость передачи, кбит/с
Номинальная	9—10	8—20
Половинная	4,5—5	2 или 4
Удвоенная	18—20	20—80

Таблица 2. Кодеки, поддерживаемые DRM

Скорость передачи, кбит/с	20—80	8—20	2—4
Кодек	AAC	CELP	8—20
Скорость аудиосигнала	12, 24 или 48	8—16	2 или 4
SBR	Есть	Есть	Есть
PS	Есть	—	—
Удвоенная полоса	есть	Есть	Есть

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ DRM

Система DRM имеет три канала передачи (см. рис. 5): основной (MSC), канал описания (SDC) и быстрого доступа (FAC). В канале FAC передаются параметры OFDM-сигнала и конфигурация SDC и MSC. Емкость не превышает 72 бита/кадр.

В канале SDC содержится информация, требуемая для декодирования канала MSC, например, структура мульт-

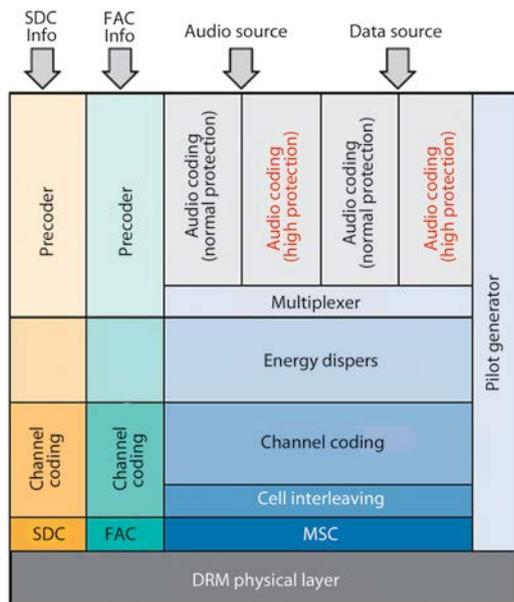


Рис. 5. Мультиплексирование и кодирование канала в DRM

Info — информация; Audio source — источник аудиосигнала; Data source — источник данных; Precoder — предварительное кодирование; Energy dispers — рассредоточение энергии; Channel coding — кодирование канала; Audio coding (normal/high protection) — кодирование звука (нормальная/высокая) защита; Multiplexer — мультиплексор; Cell interleaving — перемежение ячеек; DRM physical layer — физический уровень DRM; Pilot generator — пилотный генератор

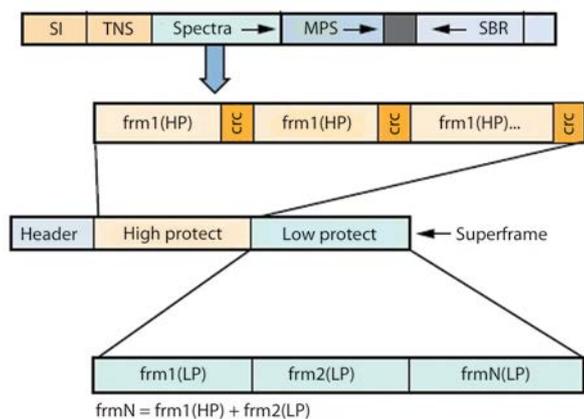


Рис. 6. Суть метода UEP

Header — заголовок; high protect — высокая защита; Low protect — низкая защита; Superframe — суперкадр

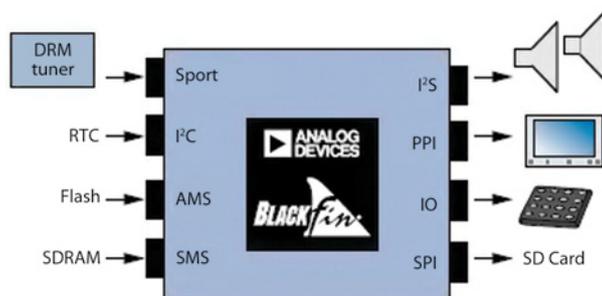


Рис. 7. Цифровое радио на основе процессора Blackfin

DRM tuner — DRM тюнер; Card — карта

Таблица 3. Распределение памяти в декодере HE-AAC V2

Объем памяти, кбайт	Код	Таблица	Данные	MIPS
DAB	115	61	182	8—20
DRM	115	62	182	2 или 4

типлексированного кадра. В канале MSC кодируется кадр, сгенерированный мультиплексором. Определено три вида отображения: стандартное, иерархичное симметричное и смешанное иерархичное. Используется неравномерная защита от ошибок (UEP, см. рис. 6), когда мультиплексированный кадр разбивается на две части с разным уровнем защиты от ошибок (высокая и низкая).

ЦИФРОВОЕ РАДИО НА ОСНОВЕ BLACKFIN

Для операций, в которых требуются функции DSP и микроконтроллера, хорошо подходят процессоры Blackfin (см. рис. 7), особенно семейства ADSP-BF5xx, поскольку эти процессоры имеют развитые периферийные возможности. Для разработки многофункциональных устройств представлены все необходимые средства: программно-аппаратные инструменты разработки, программные компоненты сторонних производителей, исходные проекты. Качество конечного продукта гарантировано, поскольку на процессорах Blackfin выпущено не одно поколение устройств, программные IP отлажены, и производитель обеспечивает техническую поддержку. Кроме того, для Blackfin разработан большой набор производительных аналоговых ИС. Средства, предлагаемые компанией ADI, позволяют в короткий срок спроектировать цифровое радио, интернет-радио и другие многофункциональные продукты.

Кроме того, ADI предлагает собственную библиотеку декодеров для цифрового радио. Один из них — декодер HE-AAC v2 — мы рассмотрим более подробно.

ДЕКОДЕР HE-AAC V2

Структура декодера приведена на рисунке 8. Декодер состоит из блоков AAC, SBR и PS. Он поддерживает стандарты ETSI DAB и DRM и обратно совместим с AAC-LC. Основные параметры декодера приведены в таблице 3.

- Ключевые особенности:
- 960 выборок в кадре;
 - поддержка AAC-LC/HE-AAC v1/v2/DRM/DAB;
 - маскирование ошибок;
 - поддержка DRC;
 - оптимальное использование памяти и высокая производительность;
 - соответствует векторам ISO/DAB/DMB и ETSI.

Декодер выполняет все операции кодирования звукового сигнала, в т.ч.:

- высокое разрешение по частоте и эффективное кодирование за счет MDCT/TDAC;

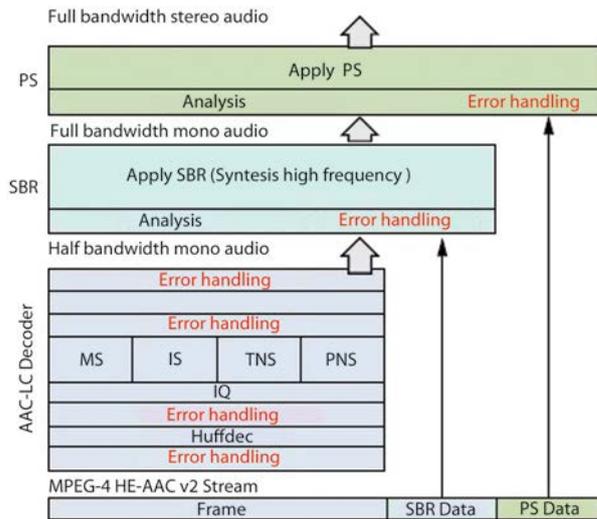


Рис. 8. Структура декодера MPEG-4 HE-AAC v2

Full bandwidth stereo (mono) audio — стерео (моно) сигнал, полная полоса; Apply — выполнение; Analysis — анализ; Error handling — обработка ошибок; Synthesis high freq — синтез высокой частоты; Decoder — декодер; Stream — поток; Frame — кадр; Data — данные

- адаптивное переключение блоков ослабляет опережающее эхо;
- нелинейное квантование;
- кодирование Хаффмана;
- использование функций Кайзера-Бесселя для подавления просачивания спектральных составляющих;
- регулируемый размер кадра улучшает распределение битов;
- инструменты IS/MS stereo/TNS и PNS;

- дублирование спектральной полосы;
 - параметрическое стерео.
- Результаты испытаний данной архитектуры приведены в таблице 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компания Analog Devices одной из первых произвела цифровые радиоприемники и провела испытания исходных проектов в полевых

Таблица 4. Результаты тестирования радио на основе процессора Blackfin

Параметр	Значение
Чувствительность	40 дБ
Половинная полоса	На 5 дБ лучше MRR
Взаимная модуляция	Больше 57 дБ
Динамический диапазон	На 25 дБ больше MRR
Подавление бокового канала	MRR + 5 дБ на ±10 кГц
Смещение частоты при приеме	На 400 Гц лучше MRR
Рабочее напряжение	6,5—12 В

условиях. Цифровые радиоприемники DRM-сигнала на основе процессора Blackfin, предложенные ADI, отвечают всем требованиям стандарта. В настоящее время данная архитектура с успехом применяется многими производителями в различных странах мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Michael Feilen. *The Hitchhikers Guide to Digital Radio Mondiale (DRM)/The Spark Modulator*, 2011.
2. Subrahmanyam, T.V.B., Mohammed Chalil. *Emergence of High Performance Digital Radio// Electronics Maker*, ноябрь 2012.

Почти любое приложение можно выполнить, используя элементную базу одного производителя электронных компонентов. ANALOG DEVICES - этот производитель.



Аналог везде

- Влажность
- Скорость
- Температура
- Давление
- Положение
- Свет
- Цвет
- Газ
- Магнитное поле
- Звук



- **Москва**
Тел.: (495) 660-2855
Факс: (495) 660-2855
E-mail: cmp@argussoft.ru
- **Санкт-Петербург**
Тел.: (812) 412-0107
Факс: (812) 412-1849
E-mail: spb@argussoft.ru
- **Новосибирск**
Тел.: (383) 227-1155
Факс: (383) 222-4031
E-mail: nsk@argussoft.ru
- **Екатеринбург**
Тел.: (343) 378-3242
Факс: (343) 378-3241
E-mail: ural@argussoft.ru
- **Казань**
Тел.: (843) 293-4100
Факс: (843) 293-4100
E-mail: kazan@argussoft.ru



РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ С ПИТАНИЕМ ОТ МИКРОСБОРЩИКОВ ЭНЕРГИИ

КАРЛО КАНЦИАНИ (CARLO CANZIANI), Agilent Technologies

Беспроводные датчики и удаленные контроллеры могут работать без батарей, если воспользоваться сборщиками энергии, добывающими ее из окружающей среды. Однако при этом следует добиться равновесия между доступной энергией и энергопотреблением устройства. Эта задача несколько облегчается, если известны методы измерения мощности, способные точно определить динамический характер потребления маломощных устройств. В этой статье описываются методы разработки маломощных устройств с микросборщиками энергии.

ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ

Современные датчики, например термометры и датчики пожарной сигнализации, подключаются с помощью проводов. В будущем зданиям с эффективным энергопотреблением понадобятся разные датчики — измерения влажности, концентрации CO, CO₂, O₃, пожарные извещатели, освещенности, давления, присутствия и т.д. Проводное подключение большого числа датчиков имеет свои ограничения, поскольку прокладка кабелей в старых зданиях может оказаться невозможной, а в новых — сложной и трудоемкой. Кроме того, прокладка проводов связана с большими затратами. Любые изменения готовой проводки должны планироваться заранее, поэтому во многих случаях незапланированные изменения могут оказаться невыполнимыми. В настоящее время сложность прокладки проводов является основным фактором, сдерживающим широкое применение датчиков.

БЕСПРОВОДНЫЕ ДАТЧИКИ И УДАЛЕННЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Беспроводные датчики и удаленные контроллеры имеют некоторые преимущества перед проводными решениями. Вместо проводов для передачи информации в них используется радиоканал. Но чем запитывать эти устройства? Питание удаленного беспровод-

ного устройства от батареи вполне возможно, но ее придется заменять раз в один-два года. Замена батареи не доставит больших хлопот, если датчиков четыре или пять. Однако обслуживание большого числа датчиков и удаленных контроллеров с батарейным питанием в промышленных зданиях может оказаться непомерно дорогим.

СБОР ЭНЕРГИИ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Вместо батарей можно использовать устройства, собирающие энергию для питания беспроводных датчиков и передатчиков из окружающей среды. В настоящее время на рынке представлены разнообразные микро- и наносборщики, использующие электромагнитную технологию, термо- и вибропреобразователи, пьезоэлектрические элементы, сенсibilизированные красителем солнечные батареи и т.д.

Типовое беспроводное устройство состоит из источника энергии, блока управления электропитанием, датчика, микроконтроллера и передатчика (см. рис. 1). Рассмотрим подробнее этапы проектирования беспроводного датчика с питанием от сборщика энергии.

ЭТАП 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

На первом этапе необходимо определить энергопотребление беспро-

водного датчика и найти способы его сокращения.

Для максимального снижения энергопотребления удаленные датчики работают, как правило, в трех режимах, отличающихся разным уровнем активности: сон, работа и передача. Обычно инженеры снижают энергопотребление, используя чередование режимов работы, при котором датчик большее время проводит в спящем состоянии с минимальным потреблением энергии.

Периодически устройство активируется для выполнения внутренних функций и передачи данных. Такая активация может происходить раз в минуту для датчика температуры или по нажатию кнопки на удаленном контроллере. Микроконтроллер периодически активирует датчик, выполняет измерение, преобразует результат в сообщение и активирует передатчик для отправки информации в приемник. Информация передается по радиоканалу короткими пакетами, как правило, в частотном диапазоне ISM (для промышленных, научных и медицинских нужд). Для питания передатчика достаточно всего нескольких вольт, но потребляемый ток находится обычно в диапазоне 10–100 мА. После передачи устройство возвращается в спящий режим, в котором потребляется ток порядка сотен нА.

Для определения количества энергии, необходимой для питания конкретного устройства, важно точно знать энергопотребление и время нахождения датчика в каждом режиме работы.

ТИПОВОЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Сон. Устройство находится в этом режиме основную часть време-

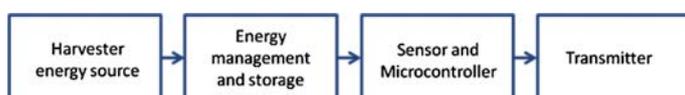


Рис. 1. Схема построения типового беспроводного устройства

Harvester energy source — сборщик энергии; Energy management and storage — схема накопления и управления электропитанием; Sensor and Microcontroller — датчик и микроконтроллер; Transmitter — передатчик

ни, потребляя минимальный ток (см. рис. 2). Поскольку энергопотребление в этом режиме минимальное, необходимо стремиться к тому, чтобы его продолжительность относительно других режимов была как можно больше.

Работа. Микроконтроллер получает данные от датчика, преобразует их и передает информацию на радиопередатчик. Следует стремиться к тому, чтобы микроконтроллер выполнял функции как можно быстрее и возвращал устройство в спящий режим. Ток, потребляемый в рабочем режиме, превышает ток спящего режима в 100–1000 раз. Одной из самых распространенных причин большого потребления беспроводных датчиков является недостаток внимания к алгоритму управления питанием. Без надлежащей настройки управляющей программы устройство может находиться в рабочем режиме больше необходимого времени, потребляя значительное количество энергии. Если источник питания (батарея или буферный элемент микросборщика энергии) преждевременно истощается, устройство становится бесполезным.

Передача. После обработки результатов измерения в рабочем режиме выполняется передача информации. Передача расходует больше всего энергии, которая уходит на питание радиопередатчика и, в некоторых случаях, усилителя. В этом режиме обычно потребляется ток 10–100 мА. Поскольку он достаточно велик, следует сократить длительность этого этапа до минимума во избежание лишнего расхода энергии. Энергопотребление в этом режиме превышает показатель спящего режима в 100000–1000000 раз. Это значит, что за 1 с передачи потребляется столько энергии, сколько потребляется за день или даже за неделю работы в спящем режиме.

Важную роль в оптимизации энергопотребления играет правильный выбор коммуникационной стратегии. Зачастую более эффективными оказываются специально разработанные протоколы связи, поскольку они используют короткие сообщения, передаваемые за минимальное время. В отличие от этого, стандартные протоколы вынуждены использовать определенный формат с избыточной информацией, который увеличивает длину кодированного сообщения и, соответственно, время передачи.

НЕОБХОДИМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Для снижения энергопотребления следует тщательно измерять напряжение питания, потребляемый ток и мощность беспроводного датчика в каждом из упомянутых режимов.

Требования к измерению:

- значения тока: от сотен нА до 100 мА;

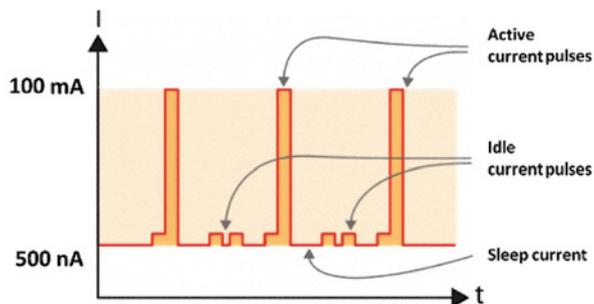


Рис. 2. Динамическое потребление тока

мА — мА; нА — нА; Active current pulses — импульсы тока в рабочем режиме; Idle current pulses — импульсы тока в спящем режиме; Sleep current — ток в режиме сна

- разрешение по времени: от сотен мкс до 1 мс в спящем режиме и во время передачи;
- потребляемая мощность (Вт) и энергия (Вт·ч или Дж) для однократных событий.
- Прочие требования:
- измерение и сопоставление зависимостей напряжения/тока/мощности от времени;
- измерения с запуском по событиям;
- безопасная работа устройства за счет поддержания токов и напряжений в допустимых пределах.

Самый распространенный подход к таким измерениям заключается в применении осциллографа с токовым пробником. Хотя эта схема позволяет увидеть импульсы тока в несколько десятков мА и соответствующую длительность передачи, измеряемые значения очень близки к пределу чувствительности токового пробника. Более того, используя токовые пробники, приходится периодически устанавливать ноль пробника для воспроизводимости измерений. Серьезным сдерживающим фактором является и вертикальное разрешение осциллографа. Но самое главное ограничение связано с отсутствием возможности установить, что происходит при значениях тока меньше единиц мА, т.е. большую часть времени работы устройства.

Альтернативный способ заключается в применении шунтов с операционными усилителями. В этом случае падение напряжения на шунте приводит к снижению напряжения питания устройства. Пониженное напряжение может нарушить работу устройства, если приблизится к минимальному значению питающего напряжения. Кроме того, погрешности смещения и усиления операционного усилителя не позволяют достичь необходимой точности во всем диапазоне измерения от сотен нА (в спящем режиме) до 100 мА (в режиме передачи).

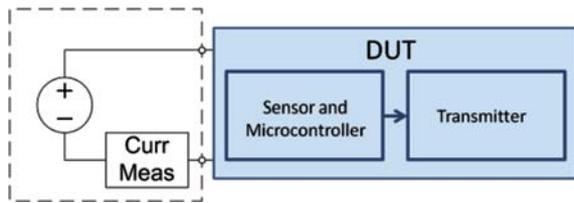
Можно возразить, что такие уровни тока измеряются с помощью специального программного обеспечения

самого устройства, способного принудительно его переводить в определенный режим для измерения параметров. Однако при таком подходе конечное программное обеспечение отличается от используемого в измерениях, что может породить различия и ошибки, заставляющие устройство работать в режиме высокого энергопотребления дольше, чем необходимо. Ясно, что измерение тока не сводится лишь к тестированию аппаратной части устройства. Следует также учитывать влияние программного обеспечения, управляющего устройством. Малое энергопотребление является плодом совместных усилий по оптимизации в обеих областях.

ЛУЧШИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Измерить потребляемый ток с необходимой точностью можно с помощью технологии безразрывного переключения измерительных диапазонов, используемой в источниках питания/измерителях (source measure unit, SMU) компании Agilent. По мере изменения тока, потребляемого тестируемым устройством, функция безразрывного переключения диапазонов новых 2-квadrантных SMU N6781A и N6782A автоматически определяет оптимальный диапазон измерения тока и мгновенно переключается на этот диапазон, обеспечивая наибольшую точность измерения. Это обеспечивает беспрецедентное разрешение по вертикали, эквивалентное 28 разрядам, и разрешение по времени 5 мкс.

В совокупности с анализатором питания постоянного тока Agilent N6705B и ПО управления и анализа 14585A источник/измеритель N6781A позволяет измерять ток, напряжение и мощность, а также визуализировать их в осциллографическом режиме или в режиме регистрации данных. Имеется возможность установить графические маркеры на полученные кривые и считывать значения, в т.ч. энергию в Вт·ч или Дж, в выбранном временном окне.



а)



б)

Рис. 3. а) блок-схема для измерения энергопотребления; б) энергия, потребляемая беспроводным передатчиком

Curr Meas — измеритель тока; Sensor and Microcontroller — датчик и микроконтроллер; DUT — тестируемое устройство; Transmitter — передатчик

ЭТАП 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

После определения и оптимизации энергопотребления можно переходить к следующему этапу — проектированию соответствующего источника энергии. Рассмотрим пример из практики.

Сбор энергии в беспроводном настенном выключателе освещения

Настенный беспроводной выключатель активируется нажатием механического элемента, соединенного с электромагнитным генератором. Эта технология позволяет обойтись без проводов, поэтому такой выключатель можно устанавливать в любом месте, где прокладка проводов невозможна или серьезно затруднена.

Метрологические проблемы, связанные с этой технологией:

- энергия генерируется во время механического перемещения;
- пиковая мощность необходима в течение всего рабочего цикла — от нажатия кнопки до активации устройства и завершения передачи;
- устройство должно накапливать энергию, которая позволяла бы активировать его на требуемое время;
- весь рабочий цикл занимает несколько миллисекунд.

Одно из преимуществ данного устройства заключается в отсутствии спящего режима. Оно работает только во время нажатия кнопки, когда устройство получает необходимую энергию. В данном случае проблема заключается в необходимости быстрого пробуждения устройства.

Измерение необходимой энергии легко выполняется с помощью источника питания/измерителя (SMU) и анализатора источников питания постоянного тока. SMU со встроенным генератором сигналов произвольной формы позволяет генерировать импульсы напряжения, необходимые для активации устройства. Функция безразрывного переключения диапазонов выбирает наиболее подходящий диапазон измерения тока, что обеспечивает наибольшую точность.

Используя программу управления и анализа в режиме измерения мощности, можно установить маркеры на дисплее и установить, сколько мкДж было потреблено от активации устройства до завершения процесса передачи. В примере, показанном на рисунке 3, потребление устройства составило около 80 мкДж. Этот параметр играет ключевую роль в определении количества энергии, которую должен предоставлять ее сборщик.

Зная, сколько энергии должен поставлять сборщик, можно выбрать наиболее подходящее решение, вырабатывающее необходимую энергию в виде одного узкого импульса. Затем необходимо выбрать тип накопителя энергии, например конденсатор. Чтобы проверить работу системы, следует соединить сборщик энергии, выпрямитель, конденсатор и воспользоваться SMU в качестве нагрузки, чтобы задать величину потребляемого тока (см. рис. 4). В примере измерения, показанном на рисунке 4б, установлен ток нагрузки 20 мА. Устройство SMU запускается по фронту сигнала напряжения и выполняет однократную регистрацию.

ТЕСТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

Последним этапом после выбора подходящего сборщика энергии и беспроводного передатчика является соединение источника энергии, накопительного элемента, пользовательского устройства (см. рис. 5) и анализ их работы. Для определения характеристик конечной схемы необходимо измерить ток и напряжение.

Напряжение измеряется легко, а вот измерение малого, динамически изменяющегося тока может оказаться проблематичным. При использовании шунта падение



а)



б)

Рис. 4. а) схема подключения сборщика энергии к электронной нагрузке; б) измерение мощности; маркеры показывают результат в мкДж

Harvester energy DC source — источник постоянного напряжения со сборщиком энергии



ПО включено

Измеритель пиковой мощности Agilent U2020 серии X

- РЛС
- Спутниковые системы
- Системы сотовой связи
- Базовые станции



Там, где важна каждая секунда и каждое измерение, требуются особые измерительные приборы. Именно поэтому мы разработали новые USB-измерители мощности Agilent Technologies U2020 серии X. Эти высокоскоростные измерители мощности позволяют проводить тестирование устройств с более высокой точностью. Вход и выход для внешней системы запуска позволяют максимально увеличить эффективность испытаний и сократить расходы на тестирование.

Измерители пиковой мощности U2020X

2 модели: до 18 ГГц и до 40 ГГц

3500 измерений в секунду

Динамический диапазон 55 дБ по пиковой мощности

Видеополоса 30 МГц

Входная мощность от -35 до +20 дБм

Внутренняя калибровка и установка нуля

Вход и выход для внешней системы запуска



Просканируйте
QR-code или
посетите наш
сайт goo.gl/cvnVX.

Загрузите новую брошюру по измерениям мощности
www.agilent.com/find/rfpowertips_ad



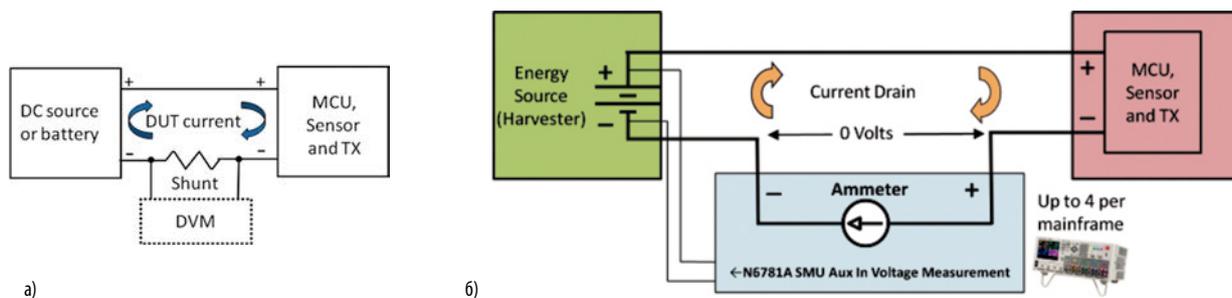


Рис. 5. а) схема измерения с помощью шунта; б) схема измерения с SMU N6781A в качестве виртуального шунта

DC source or battery — источник постоянного напряжения или батареи; **DUT current** — ток тестируемого устройства; **Shunt** — шунт; **DVM** — цифровой вольтметр; **MCU, Sensor and TX** — микроконтроллер, датчик и передатчик; **Energy source** — источник энергии (сборщик); **Current Drain** — потребляемый ток; **0 Volts** — падение 0 В; **Ammeter** — амперметр; **N6781A SMU Aux in Voltage Measurement** — SMU измеряет напряжение на вспомогательном входе; **Up to 4 per mainframe** — до 4 модулей на один прибор

напряжение на нем снижает напряжение питания устройства и может отрицательно повлиять на его работу. При снижении напряжения меньше допустимого предела устройство может перестать работать.

Рекомендуется выбрать устройство SMU, которое может работать в режиме амперметра с нулевым падением напряжения, что позволит измерять потребляемый ток с большим динамическим диапазоном. Если используется SMU с дополнительным цифровым вольтметром, можно одновременно наблюдать осциллограммы тока и напряжения на одном экране. Следует учесть, что напряжение и ток дискретизируются синхронно, позволяя отобра-

жать и кривую мощности. Для контроля энергии, потребляемой в течение всего рабочего цикла, можно использовать маркеры.

Поскольку активация устройства выполняется в результате механического воздействия на сборщик электромагнитной энергии, это событие является однократным. Следовательно, для запуска анализатора источников питания постоянного тока можно использовать передний фронт напряжения. Кроме того, имеющийся выход сигнала запуска можно использовать для синхронизации других измерений, выполняемых с помощью таких приборов как осциллограф или анализатор спектра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое распространение беспроводных датчиков и удаленных контроллеров сдерживается недостаточным временем работы батареи. Применение микроконтроллеров с малым потреблением, эффективных передатчиков, накопителей энергии, схем и алгоритмов управления питанием подстегнет развитие лишь в том случае, если эти устройства будут оптимизированы на малое энергопотребление. В этом случае маломощные устройства будут питаться от источников на основе микросборщиков энергии.

Правильный выбор инструментов тестирования беспроводного датчика позволит ускорить внедрение таких устройств.

СОБЫТИЯ РЫНКА

«МАКРО ГРУПП» СТАЛА АВТОРИЗОВАННЫМ ПАРТНЕРОМ XILINX В РОССИИ | Xilinx, ведущий производитель микросхем программируемой логики, и компания «Макро групп», крупнейший поставщик электронных компонентов на российском рынке, подписали соглашение, согласно которому компания «Макро групп» получила статус авторизованного партнера по дистрибуции продукции Xilinx на территории России.

Подписание этого соглашения свидетельствует о признании многолетнего успешного опыта «Макро групп» в продвижении продукции Xilinx в России. «Получение статуса Xilinx стало еще одним подтверждением правильности выбранного нами пути развития, на котором мы вкладываем значительные средства в серьезную техническую поддержку и обучающие программы. На средства «Макро групп» открыты две обучающие лаборатории на базе ведущих технических вузов Санкт-Петербурга. В плане — открытие подобной лаборатории в Новосибирске. Конечно, такой подход к работе не мог остаться незамеченным руководством Xilinx», — отмечает Д.А. Велеславов, председатель совета директоров «Макро групп».

Каждый год «Макро групп» проводит бесплатные обучающие семинары в разных городах России, большинство из которых проходит при участии специалистов Xilinx. В двух офисах «Макро групп» — Санкт-Петербурге и Новосибирске — работают инженеры по продукции Xilinx, которые имеют многолетний опыт разработок на ПЛИС. С получением статуса эти специалисты «Макро групп» будут проходить обучение непосредственно у производителя, что значительно расширит возможности в предоставлении технической поддержки. Кроме того, такой статус гарантирует прямую техническую поддержку от Xilinx. В планах компании расширить не только в центральном офисе, но и во всех региональных отделениях штат инженеров по применению продукции Xilinx.

Кроме того, теперь всегда на складе «Макро групп» в Петербурге имеются отладочные наборы всех новых и популярных семейств Xilinx.

Несколько фактов из истории взаимоотношений «Макро групп» и Xilinx

- «Макро групп» — крупнейший локальный поставщик продукции Xilinx в РФ по итогам 2012 г.
- В 2010 г. «Макро групп» стала первой компанией в России, поставляющей радиационно-стойкие микросхемы Xilinx с соблюдением всех норм американского и российского законодательства.
- «Макро групп» — первая компания в России, которая на собственные деньги открыла две обучающие лаборатории в технических вузах страны.

www.macrogroup.ru

УЛУЧШЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАТНОХОДОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С НЕСКОЛЬКИМИ ВЫХОДАМИ

ФЛОРИАН МЮЛЛЕР (FLORIAN MUELLER), Texas Instruments

Обратноходовая топология является хорошим выбором для проектирования преобразователей, имеющих несколько стабилизированных выходных каскадов, работающих от одного источника. Эта схема особо привлекательна на малых мощностях, поскольку она позволяет создавать изолированные источники при использовании минимального количества компонентов.

В статье рассматриваются некоторые проблемы проектирования обратноходовых источников питания, имеющих несколько выходов. Основной канал работает с замкнутой петлей обратной связи, что делает его полностью управляемым. Другие выходы являются полууправляемыми, поэтому они могут обеспечить регулирование выходного напряжения и тока на уровне $\pm 6\%$. Проблемы в данной схеме могут появиться, когда мощность основного канала меньше, чем у полууправляемых выходов. Низкий ток основного выхода затрудняет стабилизацию уров-

ня напряжения на остальных выходах на уровне заданных допусков.

МЕТОД ОБРАТНОХОДОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

На рисунке 1 показана упрощенная схема изолированного обратноходового преобразователя. Параллельный стабилизатор TL431 от Texas Instruments используется вместе с оптопарой для обеспечения изолированной обратной связи. Небольшие колебания выходного напряжения, вызванные изменением входного сигнала или тока нагрузки, детектируются инвертирующим усили-

телем сигнала ошибки и сравниваются с опорным напряжением внутреннего источника TL431. Разница пониженного выходного сигнала и опорного напряжения усиливается и преобразуется в пропорциональный ток ошибки, который передается на управляющий контроллер через оптопару.

ДВА МЕТОДА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ОПТОПАРЫ

Стабилитрон D2, конденсатор C2 и резистор R1 обеспечивают управление оптроном (см. рис. 1), напряжение питания которого является фиксированным. Это позволяет устранить зависимость режима работы оптопары от изменения выходного напряжения или тока нагрузки по передаточной характеристике.

Независимость выходного напряжения является причиной использования только одной цепи обратной связи в этой схеме. Контур управления не содержит внутренней петли. На рисунке 2 показана блок-схема передаточной функции.

Общая характеристика разомкнутого контура регулирования определяется всеми передаточными функциями схемы:

$$G_{\text{total without inner loop}}(s) = G_{EA}(s) \times G_{PS_opto}(s),$$

$$G_{PS_Opto}(s) = G_{\text{Powerstage}}(s) \times G_{\text{Optocoupler}}(s).$$

Использование оптопары с регулируемым выходным напряжением является альтернативным методом управления, при этом стабилитрон D2 и конденсатор C2 должны быть удалены. Ток оптрона в этом случае зависит от разницы между напряжением его питания (V_{out}) и сигналом ошибки, кроме того в схему вводится второй

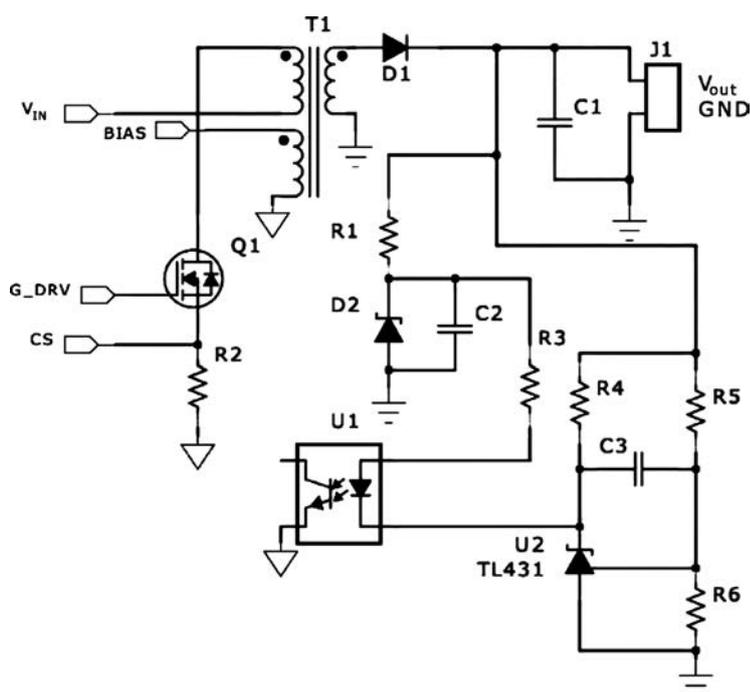


Рис. 1. Метод управления по вторичному каскаду

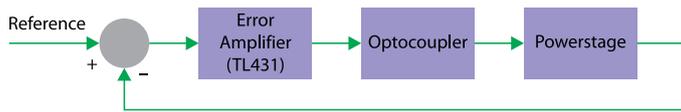


Рис. 2. Блок-схема передаточной функции (без внутренней петли)

Reference — входной сигнал; Error Amplifier — усилитель сигнала ошибки; Optocoupler — оптопара; Powerstage — силовой каскад

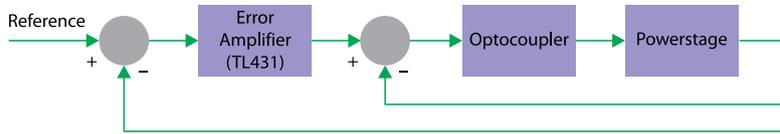


Рис. 3. Блок-схема передаточной функции (с внутренней петлей)

Reference — входной сигнал; Error Amplifier — усилитель сигнала ошибки; Optocoupler — оптопара; Powerstage — силовой каскад

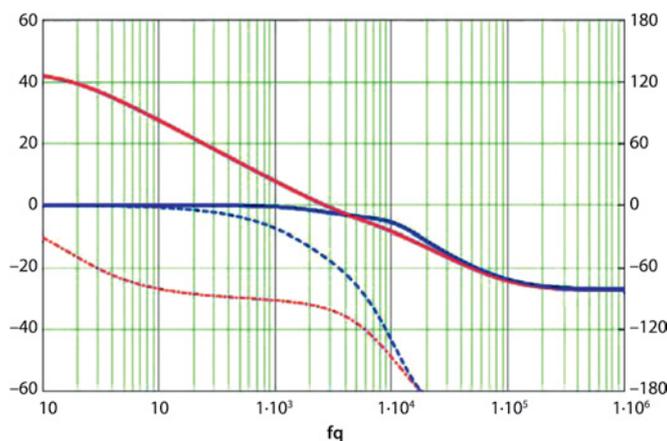


Рис. 4. График Боде (силовой каскад — оптопара)

Красная кривая: без внутреннего контура (сплошная линия: АЧХ, пунктирная линия: ФЧХ). Синяя кривая: с внутренним контуром (сплошная линия: АЧХ, пунктирная линия: ФЧХ)

внутренний контур (см. блок-схему на рисунке 3).

Общая характеристика разомкнутого контура регулирования определяется здесь передаточной функцией усилителя сигнала ошибки, обратной связи силового каскада и оптопары:

$$G_{\text{total without inner loop}}(s) = G_{\text{EA}}(s) \times G_{\text{PS_opto closed}}(s),$$

$$G_{\text{PS_opto closed}}(s) = \frac{G_{\text{PS_opto}}(s)}{G_{\text{PS_opto}}(s) + 1}.$$

Влияние внутреннего контура регулирования видно на графике Боде передаточной функции «силовой каскад — оптрон» (см. рис. 4). В соответствии с выражением 1 коэффициент передачи уменьшается почти до 0 дБ на низких частотах, на более высоких частотах он отслеживает характеристику разомкнутой петли. Добавление внутреннего контура за счет подключения оптопары к регулируемому выходному напряжению оказывает влияние на коэффициент передачи цепи.

Преимущество использования внутреннего контура состоит в снижении выходного импеданса и улучшении качества переходной характеристики. Система при этом работает быстрее, поскольку информация не проходит через усилитель сигнала ошибки. Компенсация внутреннего замкнутого контура осуществляется с помощью цепей типа I или II, более подробный анализ приведен в [2].

ДИЗАЙН ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НЕСКОЛЬКИМИ ВЫХОДАМИ

Обратноходовые преобразователи часто используются в источниках питания, имеющих несколько выходных напряжений. Для реализации каждого выхода требуется дополнительная обмотка трансформатора, выпрямитель и выходной конденсатор. Только один выход преобразователя является жестко управляемым, остальные контролируются косвенно, по вторичным обмоткам трансформатора. Если бы связь между обмотками была идеаль-

ной, то напряжение на выходе определялось бы коэффициентом трансформации. К сожалению, такая ситуация на практике невозможна, что проявляется в ухудшении качества косвенного регулирования, при этом рассматриваются два критических состояния.

К первому случаю относится малый выходной ток вторичных обмоток при полной нагрузке на основном выходе. Наличие индуктивности рассеяния и паразитных емкостей трансформатора может привести к возникновению осцилляций на вторичной обмотке. Если дополнительный выход полностью загружен, паразитная генерация подавляется. В противном случае осцилляция будет заряжать выходной конденсатор, что приводит к повышению вторичного напряжения. Эта проблема может быть решена за счет использования некоторой минимальной фиксированной нагрузки или стабилитрона, ограничивающего сигнал на вторичной обмотке. Другое критическое состояние наступает при очень низком токе основного выхода, когда дополнительные выходы могут стать полностью неуправляемыми.

На рисунке 5 показан пример схемы обратноходового преобразователя с несколькими выходами. Проблемы могут возникнуть в случае, если максимальная мощность регулируемого канала (V_{out1}) незначительна по сравнению с общим значением мощности нагрузки. Дополнительный выход (V_{out2}) может быть нерегулируемым, если ток основного управляемого канала достаточно мал. Снижение коэффициента усиления компенсационной цепи для уменьшения быстродействия системы не всегда помогает улучшить управляемость по V_{out2} . Отключение оптопары от выхода V_{out1} и питание ее постоянным напряжением с целью исключения внутреннего контура, как правило, также не приводит к успеху.

Существует еще один метод, который может дать положительный результат — он основан на использовании внутреннего контура полуправляемого выхода. Для реализации этого метода оптопара подключается к выходу V_{out2r} , при этом V_{out1} контролируется от внешнего контура напряжения, а V_{out2} — от внутреннего (см. рис. 5). Комбинированный сигнал содержит информацию об ошибке по обоим выходам, которая через оптрон поступает в первичную цепь. Этот сигнал управляет коэффициентом заполнения импульсов силового ключа и, следовательно, током первичного каскада.

Компания Texas Instruments предлагает контроллер квазирезонансной широтно-импульсной модуляции, который содержит все функции, необходимые для реализации высокоэффектив-

Простые в использовании инструменты для разработки.

Центр разработки WEBENCH®



Используйте популярные средства разработки WEBENCH® для одновременного сравнения рабочих характеристик полностью готовых систем по многим параметрам, включая эффективность, размер и стоимость, – за считанные секунды. Получите мгновенный доступ к новейшим моделям для симулирования, параметрическим данным и информации о корпусах для систем управления питанием, освещения и датчиков.

- > Оптимизация разработки за считанные секунды
- > Моделирование результатов
- > Заказ прототипа

www.ti.com/webench-ru



Унифицированные инструменты разработки

Используйте эти инструменты для создания проектов в одной среде WEBENCH®:

- WEBENCH® Power Designer
- WEBENCH® LED Designer
- WEBENCH® Sensor AFE Designer
- WEBENCH® Sensor Designer

Улучшенные иерархические средства разработки

Используйте эти высококачественные экспертные инструменты поддержки для создания сложных проектов:

- WEBENCH® Power Architect
- WEBENCH® System Power Architect
- WEBENCH® Processor Power Architect
- WEBENCH® FPGA Power Architect
- WEBENCH® LED Architect

Моделирование

- ПО SPICE-моделирования TINA-TI™

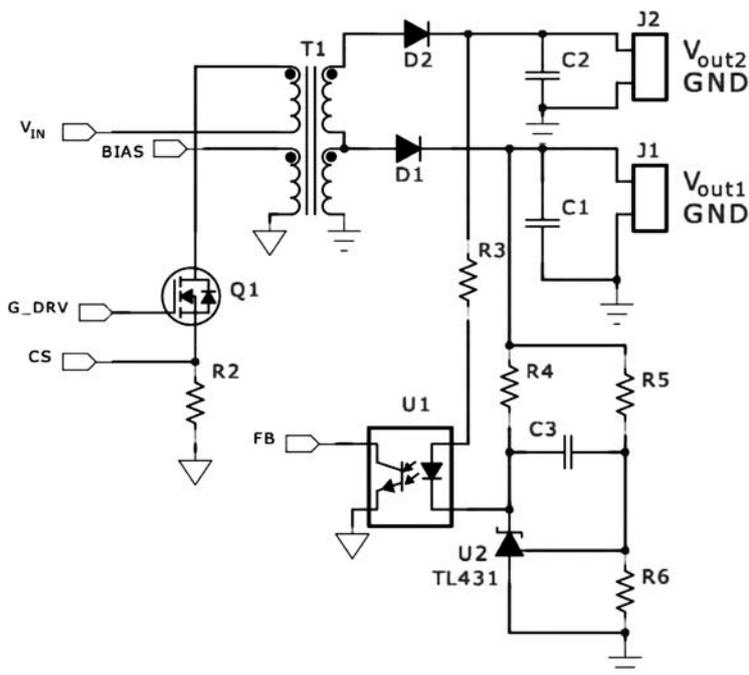


Рис. 5. Схема обратноходового преобразователя с несколькими выходами

ных источников автономного питания (например, UCC28600). Доступны также токовые контроллеры, имеющие очень

низкое потребление в режиме ожидания. Более подробная информация содержится на сайте: www.ti.com.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обратноходовые импульсные преобразователи очень популярны благодаря низкой стоимости и простоте реализации. К сожалению, в некоторых применениях они не могут обеспечить хорошее регулирование напряжения на дополнительных выходах, однако существуют различные методы решения этой проблемы. Например, сигналы вторичных обмоток или выходов могут быть объединены, это позволяет формировать комбинированные обратные связи и улучшать характеристики регулирования. Описанный выше способ подключения внутреннего контура открывает новые возможности для улучшения регулировочных характеристик дополнительных каналов стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vatche Vorperian. *Fast Analytical Techniques for Electrical and Electronic Circuits*// Cambridge University Press 2002.
2. Robert Kollmann, John Betten. *Closing the Loop with a Popular Shunt Regulator*// Texas Instruments.
3. www.powerelectronics.com.

СОБЫТИЯ РЫНКА

| INTEL НА ПЕРЕПУТЬЕ: КОЛОСС ЗАШАТАЛСЯ И СВЕРНУЛ С ДОРОГИ? | 16 мая 2013 г. официально вступил в должность Брайан Кржанич — новый глава Intel. Ему досталось очень непростое наследство. Какие перемены ждут лидера полупроводниковой промышленности, так или иначе влияющего на большинство отраслей электроники?

Прежний глава корпорации Пол Отеллини неожиданно для многих в ноябре 2012 г. решил покинуть свой пост, проработав на нем 8 лет (и 40 лет — в Intel). Преемнику достается очень непростое наследство: прибыль Intel стремительно падает, рынок ПК съезживается под натиском планшетов и смартфонов, куда Intel не успела вовремя войти, закон Мура, который служил лейтмотивом технологического развития (и успеха) Intel последние десятилетия, вот-вот прекратит действовать. Сама корпорация мечется в поисках новых путей развития, но пока не вполне успешно.

Ходят слухи и о покупке AMD (уже в который раз), и о потере корпорацией лидерства в производстве процессоров, и о покупке Intel лицензий у ARM, и о переходе к фаундри-стратегии (поскольку сама Intel уже не в состоянии полностью загрузить собственные производственные мощности — не хватает заказов), и многое другое. Попробуем разобраться в ситуации. Но сначала — немного официальной информации.

«Финансиста» сменит «производственник»

Официальным пресс-релизом в начале мая Intel сообщила, что Совет директоров Intel единогласно выбрал Брайана Кржанича (Brian Krzanich) главным исполнительным директором, а Рене Джеймса (Renée James) — президентом американской корпорации. Брайан Кржанич, занимавший должность директора по производству с января 2012 г., станет шестым главным исполнительным директором за всю историю Intel. Пол Отеллини (Paul Otellini) покинул свой пост и совет директоров 16 мая текущего года.

Кржанич занимал целый ряд технических и руководящих постов с момента перехода в корпорацию в 1982 г. Рене Джеймс (Renée James) тоже приступила к выполнению новых обязанностей 16 мая. До этого она возглавляла в Intel направление разработки ПО и сервисов.

Напомним, что Пол Отеллини совмещал обе должности — главного исполнительного директора и президента Intel. Очевидно, что назначая на эти должности разных людей, в корпорации решили разграничить ответственность. Пойдет ли такое распределение обязанностей на пользу Intel? Будущее покажет.

На посту директора Intel по производству Кржанич руководил более чем 50 тыс. сотрудников из различных подразделений. Рене Джеймс имеет обширные знания в области компьютерных технологий, включая аппаратные средства, решения для обеспечения безопасности. Эти знания она приобрела, занимая ведущие позиции в Intel и работая на должности председателя совета директоров Intel. Кроме того, она работала руководителем аппарата при Энди Гроуве (Andy Grove), бывшем главным исполнительным директором корпорации Intel.

Продолжение см. на с. 80

110101011010110101011101
PEAK
electronics

THE WORLD OF DC/DC-CONVERTERS



PO/HS - серия мощных DC/DC-преобразователей с установленным радиатором



ПАРАМЕТРЫ

- Широкий диапазон входного напряжения: 4:1 (9-36 В/18-72 В)
- Электрическая прочность изоляции вход-выход 1500 В
- Выходная мощность: 20, 30, 40, 60 Вт
- Выходное напряжение: 1.8; 2.5; 3.3; 5; 12; 15 В
- Высокая эффективность: 87% (тип.)
- Однополярный/биполярный выход
- Дистанционное управление
- Комплекс защитных мер
- Латунный никелированный корпус: 2"x1"/2"x2"
- Температурный диапазон работы: -40...+85°C

Наш дистрибьютор в России:

Москва
Тел.: (495) 995-0901, доб. 2380
Звонарев Евгений
E-mail: zvonaREV@compel.ru

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-94-03, доб. 4260
Селезнев Михаил
E-mail: sma.spb@compel.ru

 **Компэл**
www.compel.ru

ОСОБЕННОСТИ СТЕКА TCP/IP ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

ВЯЧЕСЛАВ ЗАВЬЯЛОВ, инженер, zavialov-work@yandex.ru

В статье рассмотрена структура стека TCP/IP, кратко описаны протоколы, входящие в него. Названы основные факторы, которые необходимо учитывать при проектировании стека TCP/IP для встраиваемых систем.

Протоколы TCP/IP делятся на четыре уровня (см. рис. 1). Они не имеют строгого соответствия с моделью ISO/OSI, поскольку она была разработана позднее.

УРОВЕНЬ МЕЖСЕТЕВЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Протоколы межсетевых интерфейсов (уровень IV) обеспечивает интеграцию сети TCP/IP в другую сеть. Для каждой технологии, используемой в общей сети, должны быть разработаны собственные интерфейсы подключения. Этот уровень соответствует физическому и каналному уровням модели OSI. В протоколах TCP/IP он не регламентируется, хотя обеспечена поддержка наиболее распространенных интерфейсов, таких как Ethernet, Token Ring, ATM, FDDI, X.25, SPIP и т.д.

УРОВЕНЬ МЕЖСЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Протоколы межсетевого взаимодействия (уровень III) осуществляют передачу дейтаграмм с использованием локальных сетей, территориальных сетей X.25, линий специальной связи и т.д. Основным протоколом является IP, который изначально проектировался как протокол передачи пакетов в составных сетях, объединяющих большое количество локальных сетей локальными или глобальными связями. Передача пакетов в протоколе IP осуществляется без установления соединений, т.е. дейтаграммным способом.

К уровню межсетевого взаимодействия относятся все протоколы, связанные с состоянием и модификацией таблиц маршрутизации, такие как протоколы сбора маршрутной информации RIP и OSPF, а также протокол межсетевых управляющих сообщений ICMP. Последний протокол предназначен для обмена информацией об ошибках между маршрутизаторами сети и удаленным источником пакета. С помощью специальных пакетов ICMP сообщает о невозможности доставки пакета, аномальных величинах параметров, состоянии системы, изменении маршрута пересылки и типа обслужи-

вания, превышении времени жизни или продолжительности сборки пакета из фрагментов и т.д.

Транспортные протоколы IV уровня в значительной степени определяют требования к ОЗУ. Именно на этом уровне устанавливается объем данных, который пересылается между процессорами.

ОСНОВНОЙ УРОВЕНЬ

Уровень II называется основным. На этом уровне функционируют протокол управления передачей TCP (Transmission Control Protocol) и протокол дейтаграмм пользователя UDP (User Datagram Protocol). Для разработчика встраиваемых систем это самый важный уровень, поскольку большинство параметров, определяющих пропускную способность сети, устанавливаются именно на нем.

Протокол TCP обеспечивает надежную передачу сообщений между удаленными прикладными процессами за счет образования логических соединений. TCP позволяет без ошибок доставлять сформированный на одном из компьютеров поток байтов в любой другой компьютер, входящий в составную сеть. TCP делит поток байт на части — сегменты и передает их нижележащему уровню межсетевого взаимодействия.

После того как эти сегменты будут доставлены в пункт назначения, протокол TCP снова соберет их в непрерывный поток.

Протокол UDP обеспечивает передачу прикладных пакетов дейтаграммным способом, как и главный протокол уровня межсетевого взаимодействия IP, и выполняет только функции связующего звена (мультиплексора) между сетевым протоколом и многочисленными системами прикладного уровня или пользовательскими процессами. Он намного проще протокола TCP, обеспечивает более высокую скорость передачи, однако ненадежен и подвержен таким ошибкам как потеря или дублирование данных, нарушение очередности следования пакетов и т.д.

Для систем реального времени предпочтительнее использовать протокол UDP, а в случаях, когда необходимо гарантировать доставку данных, — TCP. Он занимает больше ресурсов процессора и обеспечивает более низкую скорость передачи, однако характеризуется высокой надежностью. Протокол UDP может применяться в закрытых сетях, в которых вероятность потери пакета низка, либо в приложениях, в которых задержка передачи имеет худшие последствия, чем частичная поте-

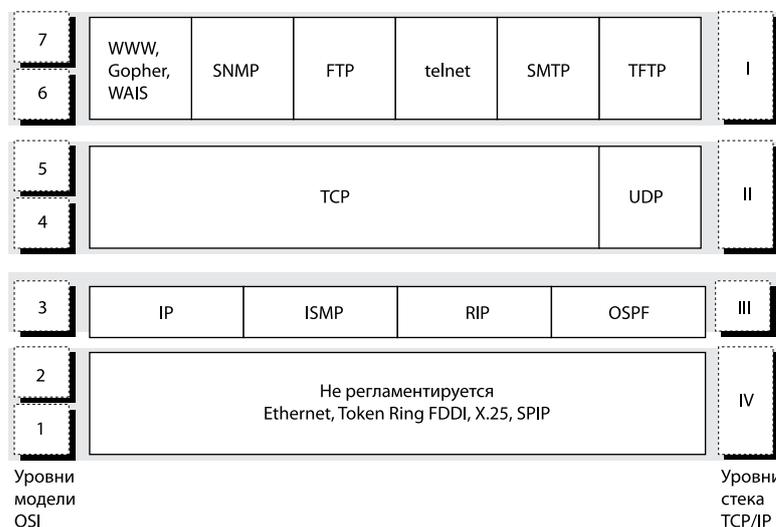


Рис. 1. Стек TCP/IP

ря данных (например, потоковая передача, VoIP). Пропускная способность UDP выше за счет отсутствия повторных передач. В некоторых приложениях можно обойтись без TCP, тогда стек фактически преобразуется в UDP/IP.

ПРИКЛАДНОЙ УРОВЕНЬ

Верхний уровень (уровень I) называется прикладным. Здесь используются такие распространенные протоколы как FTP (копирование файлов), telnet (эмуляция терминала), почтовый протокол SMTP, гипертекстовые сервисы доступа к удаленной информации, такие как WWW и многие другие. Во встраиваемых системах наиболее часто применяются протоколы DHCP и DNS.

Протокол DHCP представляет собой стандартный протокол, позволяющий серверу динамически присваивать клиентам IP-адреса и сведения о конфигурации. Сервер DHCP предоставляет клиентам IP-адрес и маску подсети. Протокол DNS устанавливает соответствие между системным именем и IP-адресом.

Протокол SNMP (Simple Network Management Protocol) используется для организации сетевого управления. Эта задача распадается на две. Первая связана с передачей информации. Протоколы передачи управляющей информации определяют процедуру взаимодействия сервера с программой-клиентом, работающей на хосте администратора. Они определяют форматы сообщений, которыми обмениваются клиенты и серверы, а также форматы имен и адресов. Вторая задача связана с контролируемыми данными. Стандарты регламентируют, какие данные должны сохраняться и накапливаться в шлюзах, имена этих данных и синтаксис этих имен. В стандарте SNMP определена спецификация информационной базы данных управления сетью. Эта спецификация, известная как база данных MIB (Management Information Base), определяет те элементы данных, которые хост или шлюз должен сохранять, и допустимые операции над ними.

Протокол пересылки файлов FTP (File Transfer Protocol) реализует удаленный доступ к файлу. Для обеспечения надежной передачи FTP использует в качестве транспорта протокол с установлением соединений — TCP. Кроме пересылки файлов протокол FTP осуществляет интерактивное взаимодействие пользователя с удаленной машиной. Например, он может распечатать содержимое ее каталогов, указывать тип и формат запоминаемых данных. Протокол FTP выполняет аутентификацию пользователей. Для получения доступа к файлу пользователи должны сообщить свои имена и пароли.

В стеке TCP/IP протокол FTP предлагает наиболее широкий набор инструментов для работы с файлами, однако он является самым сложным для программирования. Приложения, которым не требуются все возможности FTP, могут использовать другой, более экономичный протокол — простейший протокол пересылки файлов TFTP (Trivial File Transfer Protocol). Этот протокол реализует только передачу файлов, причем в качестве транспорта используется более простой протокол UDP.

Протокол telnet обеспечивает передачу между процессорами, а также между процессором и терминалом. Наиболее часто этот протокол используется для эмуляции терминала удаленной ЭВМ.

TCP/IP ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Ресурсы встраиваемых систем (ВС) очень ограничены. Как правило, стек TCP/IP необходим либо для подключения к сети IP, тогда нет ограничений на минимальную пропускную способность, либо для обмена большим объемом данных. В этом случае пропускная способность должна быть максимальной.

Назначение стека является важным критерием, от которого зависит выбор аппаратной части (производительность процессора, тип интерфейса сетевого контроллера, объем ОЗУ) и стоимость конечного продукта.

Параметры программной и аппаратной частей задаются такими характеристиками как скорость передачи, связность и пропускная способность ВС. Например, скорость передачи по линии Ethernet может оказаться ниже заявленной за счет рассогласований настроек дуплексной передачи, недостаточной производительности стека TCP/IP, которая может быть обусловлена слишком низкой скоростью процессора, малым объемом ОЗУ для буферирования и другими причинами.

Если система принимает или передает несколько сотен байт в секунду (например, показания датчика), то тактовая частота процессора может быть низкой, либо вместо 100 Мбит/с Ethernet достаточно установить скорость 10 Мбит/с.

Пропускная способность ВС должна быть высокой при работе с большим объемом данных, например, при передаче или приеме потокового видео. В таких приложениях скорость передачи составляет от нескольких единиц до сотен Мбит/с, в зависимости от качества сигнала и степени сжатия. Это создает аппаратные ограничения для процессора и интерфейса обмена с сетевым контроллером, а также программные ограничения для ОЗУ.

При добавлении стека TCP/IP во встраиваемую систему необходимо учесть несколько аспектов:

- способность процессора обработать весь объем пакетных данных;
- тип контроллера Ethernet. От него зависит реализация драйвера Ethernet;
- метод передачи между контроллером Ethernet и TCP/IP:
 - копирование с привлечением процессора;
 - прямые передачи.
- поддержка операции нуль-копирования (zero-copy);
- размер кода. Он зависит от того, какие протоколы используются. протоколы выбираются в соответствии с типом приложения;
- размер данных. Чем больше объем пересылаемых данных, тем больше требуется сетевых буферов для промежуточного хранения.

ПРОЦЕССОР

Стек TCP/IP несимметричен: передача производится быстрее, чем прием. Обработка принятого пакета сложнее, чем переданного.

В качестве примера рассмотрим ПК. Как правило, тактовая частота процессора составляет примерно 3 ГГц, объем памяти достигает нескольких Гбайт. Имеется сетевая карта Ethernet с отдельным процессором и модулем памяти (несколько мегабайт). Даже этих ресурсов иногда не хватает для обеспечения требуемой производительности сети.

ООО СМП  **ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН**
www.SMD.ru

электронные КОМПОНЕНТЫ
для поверхностного МОНТАЖА

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- высоковольтные керамические конденсаторы 
- низкопрофильные катушки индуктивности 

Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

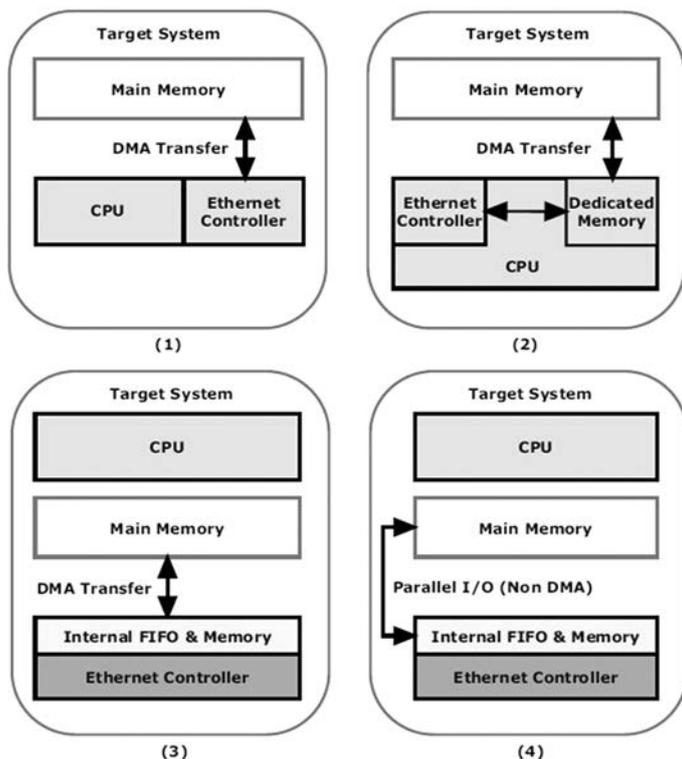


Рис. 2. Организация передачи данных между процессором и контроллером Ethernet

Target system — целевое устройство; Main memory — основная память; DMA transfer — передача ПДП; CPU — процессор; Ethernet controller — контроллер Ethernet; Dedicated memory — специальная память; Internal FIFO&memory — внутренний буфер FIFO и память; Parallel io (non DMA) — параллельная передача (не ПДП)

Возможности ресурсов ВС намного скромнее: 32-разрядный процессор с тактовой частотой 70 МГц и 64 кбайт ОЗУ. Оперативная память обычно используется для несетевых задач.

Контроллер Ethernet поддерживает скорость передачи до 1000 Мбит/с. Понятно, что ресурсов ВС не хватит для обеспечения такой скорости, даже при самом эффективном программном коде. Ввиду этого контроллеры Ethernet обычно встраиваются в микроконтроллеры.

Не в каждой системе обеспечиваются заявленные скорости передачи Ethernet. Компьютер, описанный выше, без труда справится с задачей. Однако если к нему подсоединить ВС, то она может не успеть обработать такой поток данных, и некоторые пакеты будут потеряны.

Производительность ВС ограничивается не только ресурсами про-

цессора, но и объемом ОЗУ. Перед обработкой пакеты сохраняются в сетевых буферах. В каждый сетевой буфер помещается один кадр Ethernet и относящаяся к нему служебная информация. Большинство сетевых буферов в стеке TCP/IP используются для хранения принятых пакетов. Максимальный размер кадра 1500 байт, поэтому требуется дополнительная микросхема памяти. Если памяти недостаточно, принятые пакеты займут все буферы, а остальные будут потеряны.

Решить проблему поможет прямой доступ к памяти (ПДП) или изменение скорости процессора. Чем быстрее целевое устройство принимает и обрабатывает пакеты, тем быстрее очищаются буферы.

Часто используемой операцией в стеке является вычисление контрольной суммы. Повысить ее эффектив-

ность можно за счет замены эквивалентных функций С.

КОНТРОЛЛЕР ETHERNET

Для встраиваемых систем подходят несколько архитектур контроллеров Ethernet. Как правило, критерием выбора архитектуры является расположение RAM для хранения принимаемых и передаваемых кадров. Наиболее распространенное и компактное решение — однокристалльный контроллер, выполняющий протоколы канального (MAC) и физического (PHY) уровня. Для него требуется минимальное количество внешних компонентов. Небольшое количество выводов и малый размер также являются важными для ВС факторами. В большинстве случаев однокристалльный контроллер имеет невысокое потребление, особенно если предусмотрен режим пониженного энергопотребления.

Ресурсов ВС должно быть достаточно для помещения передаваемых данных в сетевые буферы и для сохранения принимаемых пакетов и последующей обработки их протоколами более высокого уровня. Основными методами пересылки пакетов между контроллером и системной памятью являются программный (функция memcopy()) и через прямой доступ к памяти.

С помощью операции memcopy() процессор копирует байты из одной области памяти в другую. Это достаточно медленный способ. ПДП ускоряет обработку пакетов. В зависимости от возможностей контроллера и процессора различают несколько вариантов передачи (см. рис. 2). Если процессор имеет встроенный контроллер MAC, передача ПДП осуществляется из внутреннего буфера MAC в основную память. Этот метод прост в разработке и обеспечивает высокое быстродействие.

На рисунке 2-2 процессор содержит MAC-контроллер и отдельный модуль памяти для хранения принимаемых пакетов. Во многих контроллерах с этой архитектурой предусмотрена возможность передачи из основной памяти, когда специализированная резервируется для приема или передачи. Поскольку запись и считывание пакетов производится из специальной памяти, стек TCP/IP обрабатывает пакеты прямо из нее. Данная архитектура обеспечивает несложное подключение и высокое быстродействие. Стоит отметить, что быстродействие зависит от объема специализированной памяти.

Третий вариант (см. рис. 2-3) используется обычно при подключении внешних устройств к процессорной шине напрямую или через шины ISA или PCI. Процедура подключения в данном слу-

Таблица 1. Необязательные протоколы стека TCP/IP

Протокол	Почему лишний	Размер, кбайт
IGMP	Позволяет процессору использовать многоадресную передачу	1,6
ICMP	Используется для обнаружения ошибок. Не требуется в закрытых частных сетях	3,3
IP fragmentation	Используется для повторного формирования IP-пакетов. Требуется только в случаях, когда в сетях установлены разные размеры максимальной передаваемой единицы	2,0
TCP Congestion control	Требуется в случаях, когда полоса пропускания неизвестна, либо недостаточна	10,0
TCP Keep-alive	Используется для предотвращения разъединений	1,5
TCP	Используется для пересылки большого объема данных	35

чае сложнее, однако обеспечивается высокое быстродействие.

Последний способ передачи осуществляется через внешнюю шину процессора. Как показано на рисунке 2-4, данные перемещаются между внутренней памятью устройства и основной памятью с помощью процессора. Данный метод отличается простотой, однако не обеспечивает высокого быстродействия.

Не меньшее значение имеет интерфейс обмена между сетевым драйвером и контроллером Ethernet. В некоторых стеках применяется поллинг, но он малопригоден для ВС, поскольку занимает много ресурсов процессора. Более рациональным является использование прерываний, когда контроллер оповещает процессор о необходимости выполнения обработки.

НУЛЬ-КОПИРОВАНИЕ

Операции нуль-копирования (zero-copy) осуществляются без перемещения данных из одной области памяти в другую. Сетевая карта принимает и передает данные из сетевых буферов стека TCP/IP напрямую, без обращения к процессору. Высвобожденные ресурсы отводятся на выполнение более сложных задач.

Методик реализации нуль-копирования несколько, в т.ч. копирование с применением ПДП и отображение

памяти через блок управления памятью. Для них требуется специальная аппаратная поддержка, которая имеется не во всех микроконтроллерах и микропроцессорах для ВС. При выборе готового стека TCP/IP следует обратить внимание на эту опцию, поскольку иногда нуль-копирование реализуется только внутри стека, в то время как между стеком и контроллером обмен производится программно с помощью операции memcopy().

ДУПЛЕКСНЫЙ РЕЖИМ

При тестировании Ethernet-драйвера в первую очередь необходимо оценить, правильно ли выбрана скорость передачи и дуплексный режим. Когда два устройства Ethernet сконфигурированы в различных режимах дуплексной передачи, возникает несоответствие. Если один процессор работает в полудуплексном режиме, а второй — в дуплексном, то передача в обоих направлениях будет рассмотрена первым процессором как коллизия, систематическая ошибка. Процессор, работающий в дуплексе, пришлет ошибку контрольной суммы, потому что не ожидает удаления входящих пакетов из-за обнаружения коллизии. Пропускная способность сети снизится из-за повторных передач. Во избежание подобных ошибок рекомендуется всегда активировать опцию автомати-

ческого согласования на физическом уровне (auto-negotiation).

Рекомендуется не подключать старые коммутаторы Ethernet к новым маршрутизаторам, чтобы не возникло рассогласования. Это может не сказаться на работоспособности сети, однако уменьшит полосу пропускания. Не стоит также устанавливать дуплексный режим на одном конце линии и режим автоматического согласования на другом, хотя это допустимо для линий с небольшим объемом данных.

РАЗМЕР СТЕКА

При разработке ВС следует удостовериться, нужны все протоколы из семейства IP. Например, если ВС предназначена для использования в частных сетях, то публичные IP-протоколы не используются, и можно их исключить. Отметим, что возможность удаления протоколов предусмотрена не во всех готовых стеках TCP/IP.

В таблице 1 перечислены протоколы, которые можно исключить, если они не требуются. Значения являются приблизительными и могут сильно меняться у различных производителей.

ЛИТЕРАТУРА

Christian Legare. *µC/TCP-IP, the embedded protocol stack.*

СОБЫТИЯ РЫНКА



О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА (РЧС) В РФ

Законодатели и эксперты в очередной раз обсудили вопрос о необходимости ФЗ о РЧС, основной целью которого является повышение эффективности использования радиочастотного спектра (РЧС) в РФ.

29 апреля 2013 г. в Совете Федерации прошло очередное заседание Экспертного совета по связи Комитета СФ по экономической политике. Новиков Вячеслав Александрович, председатель Экспертного совета по связи, член Совета Федерации, отметил, что управление РЧС в РФ в настоящее время имеет ведомственный характер, а главное — нет единой государственной политики в области повышения эффективности управления РЧС из-за отсутствия ФЗ о РЧС.

На заседании был поднят целый ряд вопросов, касающихся дискриминационного права доступа гражданского общества к необходимым полосам радиочастот. Эксперты отметили, что, несмотря на все усилия Минкомсвязи, которое предпринимает активные шаги по предоставлению частот СИ для гражданских нужд, в настоящее время все же отсутствует полная гарантия на доступ к такому ограниченному природному ресурсу как РЧС. Представители от операторов связи выразили обеспокоенность, что такие инциденты имеют место и в случае выделения полос радиочастот для гражданского общества на конкурсной основе. На заседаниях также обсуждался ряд изменений, касающихся уточнения терминологии РЧС и конверсии РЧС, которые необходимо внести в Федеральный закон «О связи».

Сенатор также заметил, что в существующем ФЗ «О связи» в настоящее время заложен принцип гармонизации управления РЧС, а именно:

- административные методы управления РЧС, которые не способствуют повышению эффективности его использования;
- отсутствует технологическая нейтральность при распределении полос радиочастот;
- внедрение новых технологий идет с трудом, и, как следствие, нет ни новых проектов по разработке и производству отечественной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для средств электросвязи, ни развития их рынков сбыта.

В.А. Новиков предложил членам Экспертного совета по связи Комитета СФ по экономической политике подготовить предложения и все вопросы, которые имеют непосредственное отношение к Федеральным целевым программам по разработке и производству РЭА на базе отечественной электроники адресовать Минпромторгу, а также заслушать представителей Минпромторга о текущем состоянии дел с разработкой и производством отечественной элементной базой для гражданских нужд.

www.elcomdesign.ru

ПОНИЖАЮЩИЙ СВЕТОДИОДНЫЙ ДРАЙВЕР С АКТИВНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

ПИТЕР ГРИН (PETER GREEN), Power Electronics

Двухкаскадный светодиодный драйвер, состоящий из повышающего и понижающего каскадов, хорошо подходит для неизолированных систем, работающих в диапазоне мощности 50...250 Вт, и является достойной альтернативой более дорогим изолированным драйверам LED. Статья представляет собой сокращенный перевод [1].

Для соответствия стандартам безопасности светодиодные драйверы не обязательно должны быть электрически изолированными. В диапазоне 50–250 Вт существует несколько схем преобразователей мощности, которые можно использовать в светодиодных драйверах для данных приложений. Среди них — двухкаскадный преобразователь с корректором мощности в первом каскаде и с изолированной резонансной полумостовой схемой во втором каскаде, обеспечивающий высокую эффективность и плотность мощности. Однако он используется разработчиками не так часто, поскольку с ним пока еще не все знакомы, и к тому же его применение усложняет проектирование по сравнению со схемами, использующими традиционные топологии с импульсными источниками питания.

Если исключить опасность поражения от электрических ударов, связанных с устройством освещения, вместо изолированного преобразователя можно использовать неизолированный преобразователь мощности. Такой подход позволяет применить более простой и дешевый светодиодный драйвер и обеспечивает эффективность, сравнимую с упомянутым изолированным преобразователем.

С другой стороны, проблему безопасности можно решить с помощью механических средств защиты, установленных в систему освещения, которые гарантируют отсутствие между источником питания и светодиодной панелью электрического соединения до тех пор, пока не будет надета передняя панель светорассеивателя. Эта задача довольно-таки просто реализуется с помощью одного или нескольких встроенных в установку выключателей, разрывающих электрическое соединение при снятии любой съемной панели. Такой подход к безопасности столь же эффективен, что и применение электрически изолированного драйвера. Хотя это увеличивает стоимость и

усложняет разработку светодиодных осветительных устройств, некоторые производители идут именно таким путем, что позволяет им использовать более простые источники питания. Такие источники питания не удовлетворяют всем стандартам безопасности UL, но проблема решается при их встраивании в соответствующие требованиям устройства освещения.

Самая популярная схема неизолированного светодиодного драйвера состоит из двух каскадов: первый каскад ККМ (PFC) реализован на базе широко распространенного повышающего преобразователя, а второй каскад представляет собой регулятор, понижающий напряжение DC-шины 400–500 В до уровня напряжения питания для светодиодной панели. В этой статье основное внимание уделено понижающему каскаду.

Мы используем термин «повышающий + понижающий преобразователь» (Boost + Buck), который не следует путать с понижающе-повышающим (Buck-Boost) или повышающе-понижающим (Boost and Buck) преобразователями, относящимися к другим топологиям.

Первый каскад ККМ преобразует выпрямленное сетевое переменное напряжение в напряжение DC-шины. Напряжение в контуре обратной связи меняется очень медленно — в течение многих периодов, в течение которых время открытия MOSFET остается практически неизменным.

Для компенсации переходных искажений и снижения суммарного коэффициента нелинейных искажений (THD) современные контроллеры типа IRS2500 стремятся увеличивать время открытия MOSFET по мере приближения синусоидального напряжения к точке пересечения нуля. Большинство контроллеров работает в режиме критической проводимости (на границе между режимом непрерывной проводимости и режимом прерывистых

токов), в котором время закрытия MOSFET-ключа меняется в зависимости от фазы синусоидального сигнала, что обеспечивает практически синфазное изменение синусоидального напряжения и входного переменного тока. Этот метод хорошо известен и используется во многих приложениях.

С помощью следующего выражения рассчитывается величина индуктивности в корректоре коэффициента мощности:

$$L_{PFC} = \frac{(V_{BUS} - \sqrt{2} \cdot V_{ACMIN}) \cdot V_{ACMIN}^2 \cdot \eta}{2f_{MIN} \cdot P_{OUT} \cdot V_{BUS}}$$

где L_{PFC} — индуктивность, Гн; V_{BUS} — напряжение DC-шины; V_{ACMIN} — минимальное среднеквадратичное значение входного напряжения AC; η — эффективность ККМ (как правило, 0,95); — минимальная частота переключения ККМ при минимальном входном напряжении AC; P_{OUT} — выходная мощность системы.

Пиковый ток (I_{PK}) через катушку индуктивности в корректоре коэффициента мощности определяется следующей формулой:

$$I_{PK} = \frac{2\sqrt{2}}{V_{ACMIN} \cdot \eta} P_{OUT}$$

Катушка индуктивности в ККМ не должна входить в насыщение при I_{PK} и максимальной рабочей температуре. Для этого в ходе проектирования необходимо правильно рассчитывать размеры ее сердечника и воздушного зазора.

Поскольку второй понижающий каскад рассматриваемого преобразователя предназначен для снижения высокого напряжения DC-шины, существуют ограничения на минимальное выходное напряжение светодиодов, которое можно использовать, сохраняя приемлемую эффективность. Рабочий

цикл переключения понижающего преобразователя определяется отношением выходного и входного напряжений (без учета потерь). Снижение этого отношения ведет к уменьшению эффективности, что связано, главным образом, с потерями на переключение, увеличивающимися по мере роста разницы между входным и выходным напряжениями.

Отсюда ясно, что данный тип преобразователя обладает лучшей эффективностью при работе с высоковольтной светодиодной нагрузкой, например, когда он понижает напряжение DC-шины с 450 до 200 В, требуемых для управления светодиодной панелью. Такая нагрузка, как правило, состоит из большого количества светодиодов, соединенных в панель из нескольких линеек по 50 источников света. В настоящее время выпускаются мощные устройства для освещения, в состав которых входят собранные матрицы с отдельными светодиодными установками объединяется несколько таких устройств, а суммарное напряжение нагрузки в пределах заданного рабочего диапазона составляет 100–400 В. Разработчики, как правило, оптимизируют конфигурацию светодиодной нагрузки для оптимальной эффективности, которая в таком случае реализуется при максимально возможном выходном напряжении.

Существует несколько альтернативных конфигураций понижающих драйверов и методов управления светодиодами, которые используются при проектировании понижающего каскада преобразователя. В системах, где нагрузка меняется в довольно широком диапазоне, например 100–200 В, хорошо работает гистерезисное управление, которое характеризуется высокой устойчивостью и обеспечивает хорошее регулирование. В светодиодных драйверах часто наблюдаются большие высокочастотные пульсации тока, что побуждает минимизировать размеры и стоимость катушек индуктивности. Это не очень сложная задача, т.к. большинство светодиодов повышенной яркости выдерживает всплески тока, превышающие максимально допустимый средний ток на 30%. В отдельных случаях допустимы всплески тока порядка 40%.

Метод управления средним током обладает большей точностью по сравнению с альтернативным способом управления пиковым током. Это связано с тем, что между пиковыми и средними значениями тока часто наблюдается существенная разница, зависящая от изменения входного и выходного напряжений. Управление пиковым током является приемлемым методом в приложениях с фиксированной нагруз-

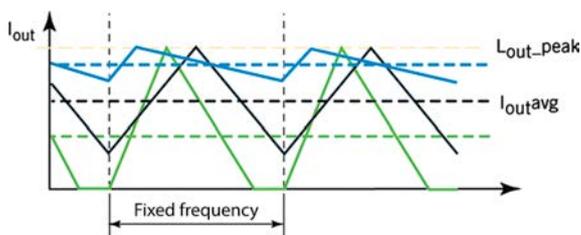


Рис. 1. Пиковое и среднее значения выходного тока
Fixed frequency — фиксированная частота

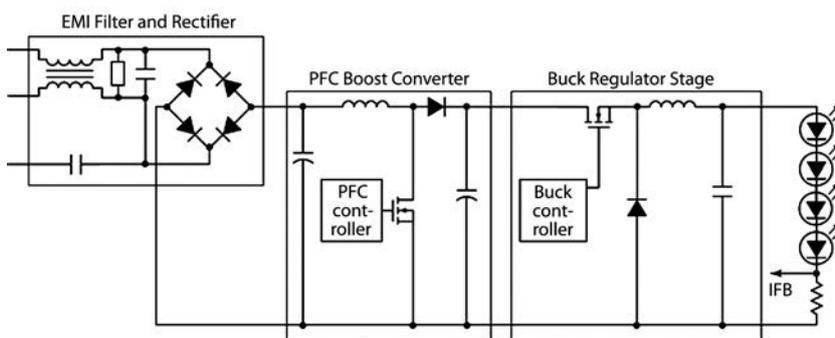


Рис. 2. Основные элементы двухкаскадного светодиодного драйвера

EMI Filter and Rectifier — фильтр электромагнитных излучений и выпрямитель; PFC Boost Converter — повышающий ККМ преобразователь; PFC controller — контроллер ККМ; Buck controller — контроллер понижающего преобразователя; Buck Regulator Stage — каскад понижающего регулятора

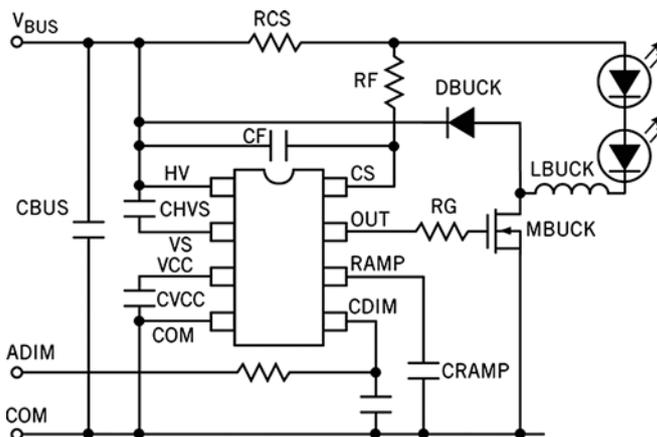


Рис. 3. Понижающий светодиодный драйвер с гистерезисным управлением средним током с нижним MOSFET-ключом

кой, однако большинство светодиодных драйверов предназначено для работы в широком диапазоне нагрузок. Желательно также, чтобы один и тот же преобразователь, предназначенный для работы со светодиодами, использовался бы в установках освещения разных размеров и конфигураций, чтобы не приходилось для каждого случая подбирать свою модель драйвера.

На рисунке 1 показано, как по мере увеличения пульсаций тока меняются средние и пиковые значения выходного тока. В этом примере частота фиксирована, поэтому рост пульсаций связан только с уменьшением размеров катушки индуктивности понижающего каскада.

Понижающий светодиодный драйвер с гистерезисным управлением

средним током может иметь конфигурацию с верхним (см. рис. 2) или нижним ключами (см. рис. 3).

В конфигурации с верхним MOSFET-ключом в цепи обратной связи используется резистор для измерения тока через светодиод. Если регулятор можно привязать к шине нулевого напряжения, с MOSFET так поступить нельзя, поэтому требуется драйвер верхнего ключа с плавающей землей. Известны ИС контроллеров, например IRS25401, в которых эта опция уже реализована. В такой конфигурации для закрытия ключа может использоваться либо диод с быстрым восстановлением, как на рисунке 1, либо синхронно управляемый ключ.

В конфигурации с нижним ключом, показанной на рисунке 3, исток

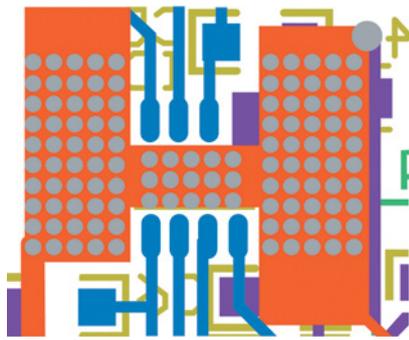
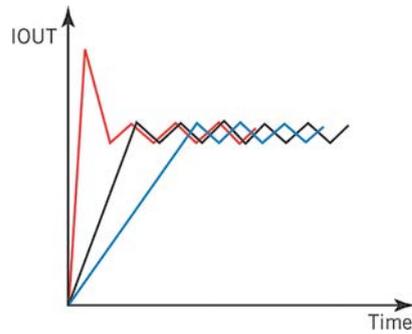


Рис. 4. Пример элементов рассеяния тепла

MOSFET соединен с шиной нулевого напряжения, благодаря чему в этой схеме используется драйвер нижнего ключа. Однако для реализации гистерезисного управления необходимо измерять ток в шине высокого напряжения. Существующие контроллеры, которые позволяют определять ток через исток MOSFET, не работают в гистерезисном режиме.

В состав ИС IRS2980 на рисунке 3 входит схема измерения тока в цепи высокого напряжения, способная работать до 450 В. Токочувствительная схема, расположенная в цепи высокого напряжения, с помощью цепи смещения уровня напряжения на драйвере затвора заставляет открыться ключ, когда дифференциальное напряжение между входами HV и CS становится меньше нижней границы гистерезиса. Ключ снова закрывается, когда это напряжение достигает верхней границы гистерезиса. В этом случае ток поддерживается на среднем уровне между двумя границами гистерезиса даже в случае возникновения всплесков и провалов тока, связанных с задержками распространения сигналов в системе.

Антипараллельный (freewheeling) диод проводит ток, когда MOSFET закрыт, а выходной ток падает. Поскольку схема работает в режиме непрерывной проводимости (CCM), для минимизации потерь на переключение диод должен характеризоваться очень быстрым временем восстановления (35 нс). В состав ИС IRS2980 входит регулятор высокого напряжения, который обеспечивает напряжение VCC, преобразуя напряжение DC-шины. Поскольку это связано с некоторым рассеянием энергии, можно получить напряжение VCC от другого источника, отключая при этом регулятор. Токочувствительная схема в цепи высокого напряжения также рассеивает часть энергии, поэтому в данном приложении необходимо предусмотреть элементы рассеяния тепла вокруг ИС. Такой метод очень эффективен для снижения температуры корпусов компонентов внутри устройств, выделяющих

Рис. 5. Время нарастания сигнала выходного тока
Time — время

тепло, поскольку он позволяет поддерживать температуру кристаллов ниже максимального значения при температуре окружающей среды до 60°C.

На рисунке 4 показан фрагмент печатной платы вокруг светодиодного контроллера в корпусе SO8, смонтированном на нижней части платы. Из рисунка видно, что на верхней части платы размещены дополнительные медные площадки, которые позволяют отводить тепло от корпуса ИС с помощью сквозных отверстий. Также широко используются специальные заливочные компаунды, в еще большей мере понижающие температуру всех компонентов преобразователя и продлевающие срок его службы.

В обе конфигурации схем можно включить светодиодный регулятор яркости ККМ. В состав ИС IRS2980 входит генератор линейно изменяющегося напряжения, регулирующий напряжение в диапазоне 0–2 В и предназначенный для стабилизации управляющего DC-напряжения. По желанию переключением ИС IRS2980 и IRS25401 можно управлять с помощью внешнего логического сигнала.

Понижающий каскад преобразователя светодиодов, как правило, работает в режиме ССМ, позволяя снизить уровень пульсаций тока и исключить необходимость в больших выходных конденсаторах. Недостатком такого подхода является то, что MOSFET переключается не при нулевом напряжении между стоком и истоком, что приводит к потерям на коммутацию.

Применение большей индуктивности и работа на более низких частотах снижает потери на переключение до минимума. На выход схемы можно установить конденсатор, чтобы снизить пульсации тока; такой подход иногда применяют вместо того, чтобы уменьшить размеры катушки индуктивности. При использовании достаточно большого выходного конденсатора применяется понижающий преобразователь в режиме прерывистых токов (DCM), позволяющий значительно сократить потери на переключение, что, однако,

может привести к проблемам в случае применения ШИМ-схемы регулирования яркости свечения. Если небольшие выходные конденсаторы способствуют фильтрации шума, то использование больших выходных конденсаторов вызывает всплески выходного тока в начале каждого импульса ШИМ-регулятора. Эта проблема решается путем прямого подключения конденсатора к светодиоду, однако при этом токочувствительный резистор станет измерять суммарный ток через конденсатор и светодиод. При использовании такого подхода может появиться задержка в нарастании выходного тока в начале каждого импульса регулятора яркости. Установив один конденсатор параллельно светодиоду, а другой — перед токочувствительным резистором, можно оптимизировать время нарастания тока.

На рисунке 5 показаны примеры перерегулирования по току (красный график) и слишком медленного нарастания тока (синий график); черный график соответствует оптимальному нарастанию выходного сигнала. Медленное нарастание сигнала при использовании ШИМ регулятора яркости препятствует ее корректному управлению при низких уровнях освещения, а перерегулирование по току ведет к перегрузке светодиода и сокращению срока его службы. В приложениях без регулирования яркости медленное нарастание тока не создает каких-либо проблем, но перерегулирование по току недопустимо. Даже при оптимизированном времени нарастания выходного сигнала существует минимально возможный уровень регулирования яркости, определяемый этим временем. Если выходной конденсатор не используется, обеспечивается более низкий уровень регулирования яркости.

Тестирование понижающего светодиодного драйвера во втором каскаде преобразователя на основе контроллера IRS2980, работающего в режиме ССМ от 400-В DC-шины и управляющего светодиодной нагрузкой на 200 В при токе 350 мА, показало эффективность, равную 95%. В этом случае индуктивность катушки составила 6,8 мГн, емкость выходного конденсатора — 100 нФ, а 500-В ключ работал при токе 5 А с зарядом затвора 25 нКл. При этом использовался ультрабыстрый диод на 600 В со временем восстановления 35 нс. Эффективность первого повышающего каскада ККМ, как правило, превышает 95%. Следовательно, вся система в целом при мощности 75 Вт работает с эффективностью выше 90%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peter Green. Buck LED driver with active PFC//<http://powerelectronics.com>.

ВХОДНЫЕ КАСКАДЫ И СОГЛАСУЮЩИЕ СХЕМЫ ДЛЯ АЦП

ИЛЬЯ ВИКТОРОВ, i.viktorov@inbox.ru

Построение интерфейсных и согласующих схем для АЦП является важной задачей, от которой зависит помехоустойчивость и точность аналого-цифрового преобразования. В статье рассмотрены различные типы входных конфигураций АЦП, принципы согласования импеданса на входе АЦП, а также особенности реализации входных интерфейсов и рекомендации по выбору согласующих схем для различных приложений.

ВХОДНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ АЦП

Имеются два типа входной конфигурации АЦП: с дифференциальным и с несимметричным входами. Хотя АЦП с дифференциальным входом обеспечивают более высокие системные характеристики, преобразователи с несимметричным входом, как правило, дешевле и способны удовлетворять требованиям некоторых приложений.

АЦП с несимметричным входом имеют один вход (не путать с входными каналами), подключаемый к сигналу, который требуется преобразовать в цифровую форму. Этот сигнал привязан или к потенциалу земли, или к определенному фиксированному опорному напряжению (см. рис. 1).

В АЦП с дифференциальным входом имеются два входа: инвертирующий (V_{in-}) и неинвертирующий (V_{in+}). В отличие от АЦП с несимметричным входом, входной сигнал АЦП с дифференциальным входом не привязан к фиксированному опорному напряжению (см. рис. 2). Для упрощения полагают, что входной сигнал симметричен относительно потенциала земли: половина полной амплитуды сигнала выше потенциала земли, другая половина — ниже. На практике, входное напряжение не следует центрировать относительно потенциала земли и, как указано выше, привязывать к этому потенциалу. Однако следует внимательно проверять динамический диапазон выбранного АЦП в режиме синфазного сигнала.

Основное преимущество АЦП с дифференциальным входом заключается в более высокой устойчивости к синфазному шуму. Такая помехоустойчивость объясняется тем, что: 1) как на инверсном, так и на прямом входном сигнале наводится одинаковый уровень шума и 2) этот шум ослабляется благодаря способности АЦП с дифференциальным входом подавлять синфазный сигнал.

В АЦП с дифференциальным входом оба входных сигнала физически передаются параллельно друг другу. Поэтому на оба сигнала наводится одинаковый уро-

вень шума. Кроме того, когда оба сигнала передаются параллельно и на одно и то же расстояние (при одинаковой длине проводника), их фазы совпадают на входе АЦП. Поскольку шум, наведенный на обоих сигналах, имеет одинаковую амплитуду и фазу, он подавляется, обеспечивая, таким образом, высокую помехоустойчивость. Такая высокая помехоустойчивость делает АЦП с дифференциальным входом наилучшим выбором в тех приложениях, где амплитуда выходного сигнала с датчика очень мала или уровень шума в системе очень высок.

Одним из примеров использования АЦП с дифференциальным входом является интерфейс тензодатчика в системах управления производственными процессами. При использовании тензодатчика выходной сигнал по своей природе является дифференциальным, а амплитуда сигнала составляет всего несколько мВ.

Для уменьшения шума при использовании АЦП с несимметричным входом можно задействовать каскад преобразования дифференциального сигнала в несимметричный сигнал, например инструментального усилителя или трансформатора, за счет подавления наведенного шума на длинных проводах в этом каскаде преобразования. Однако это не обеспечит такие же шумовые характеристики, которых можно было бы достичь с помощью АЦП с дифференциальным входом.

Одна из причин заключается в том, что часть шума может быть наведена на сигнал, когда он передается от этого преобразователя. В общем случае, дополнительные каскады преобразования сигнала вносят помехи, которые снижают общее отношение сигнал-шум в сигнальной цепи. АЦП со встроенным каскадом усиления обеспечивают более высокие шумовые характеристики по сравнению с внешними усилителями, поэтому рекомендуется избегать внешних каскадов усиления или преобразования сигнала.

В АЦП с дифференциальным входом отношение сигнал-шум улучшено также

за счет более широкого динамического диапазона. В общем случае, динамический диапазон АЦП с дифференциальным входом вдвое больше АЦП с несимметричным входом, поскольку на каждом из дифференциальных входов сигнал может изменяться с V_{ss} до V_{dd} .

Отношение сигнал-шум АЦП определяется выражением:

$$SNR_{dB} = 20 \log_{10} \frac{\text{Амплитуда сигнала}}{\text{Амплитуда шума}}$$

В случае АЦП с дифференциальным входом амплитуда сигнала может быть вдвое выше, чем у АЦП с несимметричным входом, поэтому в АЦП с дифференциальным входом отношение сигнал-шум увеличено на 6 дБ только за счет более широкого динамического диапазона.

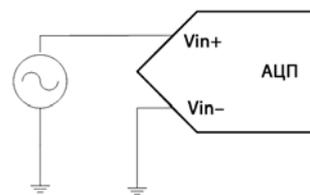


Рис. 1. АЦП с несимметричным входом

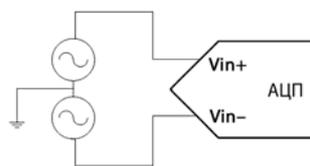


Рис. 2. АЦП с дифференциальным входом

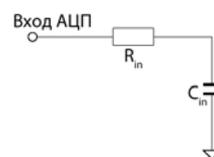


Рис. 3. Модель входного импеданса АЦП

Кроме того, для слабых сигналов с амплитудой, близкой к нижнему уровню напряжения питания, или для сигналов с потенциалом ниже земли АЦП обеспечивается любое постоянное смещение (ограниченное только синфазным напряжением). Это постоянное смещение устраняется благодаря способности дифференциального АЦП подавлять синфазный сигнал. Тем самым уменьшаются значительные накладные расходы, которые потребовались бы для исключения постоянного смещения при использовании АЦП с несимметричным входом.

Единственным недостатком АЦП с дифференциальным входом является ограниченное число входных каналов, которые реализуются при заданном числе выводов. Поскольку эти АЦП используют по два вывода на каждый вход, они могут иметь только половину каналов АЦП с несимметричным входом при одинаковом числе выводов корпуса. Если число выводов ограничено, могут возникнуть проблемы. Кроме того, следует учитывать, что АЦП, которые поддерживают как несимметричный, так и дифференциальный режим, могут поддерживать различные частоты выборки в каждом из режимов. Поэтому необходимо проверить, соответствует ли АЦП требованиям по частоте выборки в заданном режиме преобразования и разрешения.

ПОЛНОЕ ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ АЦП

Полное входное сопротивление (входной импеданс) АЦП определяется как полное сопротивление, воспринимаемое сигналом на входных выводах АЦП. Наиболее критичной проблемой при сопряжении входных сигналов с АЦП является согласование импедансов. Без решения этой задачи нельзя получить корректный уровень сигнала на входе

АЦП, что приводит к искажениям сигнала и выполнению измерений с ошибкой.

Проблема еще более усложняется, когда входной импеданс АЦП имеет малую величину, а источник сигнала не способен за заданное время зарядить входную емкость АЦП до требуемого уровня. Существуют два основных типа входных каскадов АЦП: буферизованный и небуферизованный.

БУФЕРИЗОВАННЫЕ АЦП

Многие АЦП содержат встроенный входной каскад с буферизацией. В таких преобразователях буферный каскад обеспечивает высокий входной импеданс для измеряемого сигнала. Этот каскад предотвращает падение амплитуды сигнала, подаваемого на вход АЦП. Еще одним преимуществом буферизованного входного каскада является то, что он обеспечивает практически постоянный импеданс на всех частотах входного сигнала.

Однако имеются и некоторые отрицательные свойства АЦП с буферизованным входом. Эти буферы могут вносить смещение, а также увеличивать нелинейность АЦП. Следует уделять внимание компенсации этих эффектов при использовании буферизованных АЦП в прецизионных приложениях. Другим недостатком АЦП с буферизованным входом является их более высокое потребление, что может быть неприемлемо в приложениях с низким энергопотреблением.

НЕБУФЕРИЗОВАННЫЕ АЦП

В большинстве устройств смешанного сигнала применяются небуферизованные АЦП, для которых наиболее важной проблемой является согласование импедансов на входе. Небуферизованные АЦП имеют входной каскад на основе переключаемых конденсаторов. Входной импеданс небуферизованного АЦП моде-

лируется с помощью цепи, изображенной на рисунке 3. Номиналы входного сопротивления и емкости можно найти в технической документации на АЦП. Следует быть внимательным при выборе этих номиналов, поскольку они могут зависеть от ряда факторов, в т.ч. разрешения, входного диапазона и входной конфигурации (несимметричной или дифференциальной).

Как видно из рисунка 3, входной импеданс АЦП имеет не чисто резистивный характер. Каскад на переключаемых конденсаторах, по сути, представляет собой схему выборки и хранения АЦП. На рисунке 4 показана упрощенная схема выборки и хранения. Емкостная часть входного импеданса образована, прежде всего, конденсатором выборки этой схемы ($C_{\text{выб}}$ на рисунке 4). Видно, что эффективный входной импеданс небуферизованного АЦП меняется с частотой входного сигнала. Эта зависимость выражается следующим уравнением:

$$Z_{\text{in}}(f) = R_{\text{in}} + \frac{1}{j \times 2\pi f C_{\text{in}}}$$

Представление о том, что входная емкость C_{IN} не влияет на сигналы постоянного тока, верно только отчасти. Для постоянных сигналов при заряженном конденсаторе выборки имеет значение только входное сопротивление. Однако когда входное напряжение смещается от одного уровня к другому, время установления зависит от конденсатора выборки и входного сопротивления. В большинстве случаев эта емкость достаточно мала, так что напряжение на конденсаторе почти мгновенно меняется вслед за изменением входного напряжения. Однако при использовании АЦП для измерения сигналов, которые

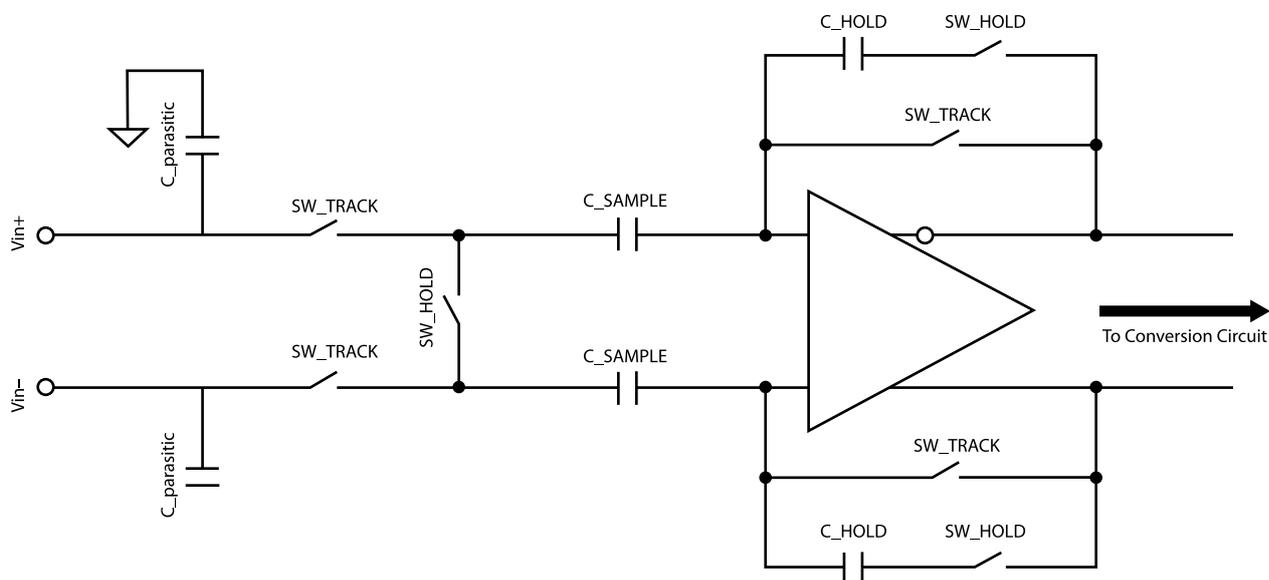


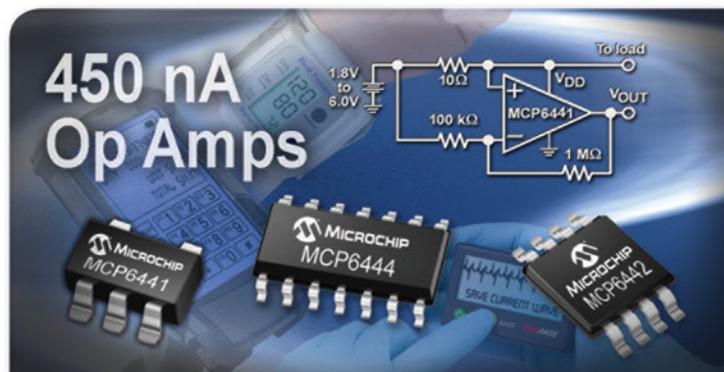
Рис. 4. Упрощенная схема выборки и хранения на основе переключаемых конденсаторов

SW_TRACK — ключ слежения; SW_HOLD — ключ хранения; C_parasitic — Паразит; C_sample — Свыб; C_hold — Схран; To Conversion Circuit — к схеме преобразования

Ваш дизайн нуждается в микропотребляющих аналоговых компонентах?

Microchip может дать вам решение!

450 nA Op Amps



The diagram shows an MCP6441 Op Amp circuit with a 1.8V to 6.0V supply, a 10Ω resistor, a 100 kΩ feedback resistor, and a 1 MΩ load resistor. The text 'SAVE CURRENT ULTRA' is visible on the chip.

LDO Extends Battery Life



The image shows an MCP1710 LDO regulator connected to a battery and a load, with a 'SHDN' pin and a 'GND' connection.

Synchronous Boost Regulator



The diagram shows an MCP16251/2 Synchronous Boost Regulator circuit with a 3.3V output and 100 mA current. Components include a 4.7 μF capacitor, a 4.7 μH inductor, and resistors of 976 kΩ and 562 kΩ.

18-bit Delta-Sigma ADC Low Power



The image shows an MCP3421 18-bit Delta-Sigma ADC connected to a multimeter.

Компания Microchip предлагает широкую номенклатуру аналоговых продуктов, которые могут применяться для широкого класса задач. Более 800 аналоговых микросхем разработаны для измерения температуры, управления и мониторинга питания, заряда батарей, применения в импульсных стабилизаторах, построения интерфейсов связи, высокоточных измерениях аналоговых сигналов и усиления, а так же для построения датчиков дыма.

Операционные Усилители

MCP6441/2/4

- 450 nA ток потребления
- Рабочее напряжение от 1.4В
- миниатюрный корпус SOT-23 / SC-70

Импульсный регулятор

MCP16251/2 Синхронный повышающий преобразователь

- Напряжение запуска: 0,8 В
- Ток собственного потребления: < 4 мкА
- Отключение нагрузки или прямое соединение входа с выходом
- Ток более 100 мА при $V_{IN} = 1,2 В$ и $V_{OUT} = 3,3 В$

Линейные стабилизаторы с малым падением

MCP1710

- Ток собственного потребления 20 мкА
- Корпус DFN (2 × 2 мм)
- стабильная работа с керамическим конденсатором

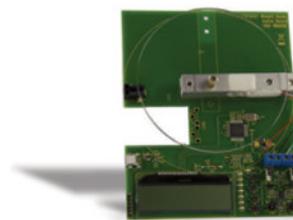
АЦП

MCP342X

- ток потребления 145 мкА
- разрешение до 18 бит
- рабочее напряжение от 2.7В

**НАЧНИТЕ СВОЮ
МИКРОПОТРЕБЛЯЮЩУЮ
РАЗРАБОТКУ СЕГОДНЯ**

www.microchip.com/analog



MCP3421 Оценочная демо плата
(MCP3421DM-WS)



Microcontrollers • Digital Signal Controllers • Analog • Memory • Wireless

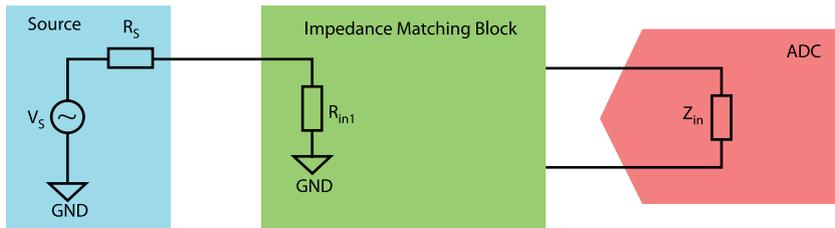


Рис. 5. Структурная схема согласования входного импеданса АЦП

Source — источник сигнала; Impedance Matching Block — блок согласования импедансов; ADC — АЦП

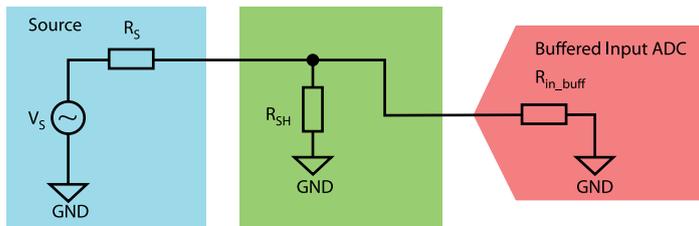


Рис. 6. Согласование импедансов для АЦП с буферизованным входом

Source — источник сигнала; Buffered Input ADC — АЦП с буферизованным входом

обладают слабой нагрузочной способностью, таких как сигналы с пьезоэлектрических датчиков, время заряда конденсатора может стать весьма существенным. В таких случаях целесообразно использовать буферизованный АЦП.

При определении входного импеданса АЦП также следует учитывать, что в документации на этот преобразователь приведены входные сопротивления и емкости для конкретного вывода относительно потенциала земли. Это в корне отличается от той величины импеданса, которую «видит» дифференциальный сигнал, когда АЦП работает в конфигурации с дифференциальным входом. Чтобы приблизительно оценить импеданс дифференциального входа для согласования входных сопротивлений, необходимо измерить импеданс дифференциального входа на требуемой частоте сигнала. Это делается с помощью анализа s-параметров на входе АЦП с использованием анализатора цепей [2].

При использовании небуферизованного АЦП следует также учитывать отклонение величины входного импеданса в разные моменты времени. В таких АЦП разные ключи включаются в режимах слежения и хранения, поэтому входной импеданс меняется в зависимости от того, находится входная схема в режиме слежения или хранения. Такой АЦП «видит» входной сигнал только в режиме слежения, поскольку в режиме хранения вход более-менее изолирован от сигнала. Следовательно, при проектировании схемы согласования импедансов необходимо учитывать, что интерес представляет только импеданс в режиме слежения. Как правило, в технической документации на АЦП приводятся значения импеданса как раз для режима слежения.

Чтобы выполнять точные измерения сигнала с использованием небуферизованных АЦП, когда источник сигнала не обеспечивает ток для управления АЦП с малым входным импедансом, между источником сигнала и АЦП включают дополнительный каскад преобразования.

СОГЛАСОВАНИЕ ИМПЕДАНСОВ

Проектирование схемы согласования в случае АЦП с буферизованным входом представляет собой достаточно простую задачу, поскольку в этом случае импеданс практически постоянен на всех частотах сигнала. Как мы уже видели, это не относится к небуферизованным АЦП. Целью проектирования согласующей схемы является согласование импеданса режима слежения такого АЦП таким образом, чтобы источник сигнала «видел» только действующую (т.е. резистивную) часть импеданса на частоте сигнала. Следует заметить, что согласование импедансов особенно важно для высокочастотных приложений, поскольку несогласованный вход вызывает заметные отражения входного сигнала и потому может сильно его исказить.

Имеется множество конфигураций согласующих схем. Их конкретная реализация зависит от конечного приложения. Однако общий вид таких схем остается неизменным (см. рис. 5). В такой схеме блок согласования импедансов учитывает входной импеданс Z_{in} и делает эффективный импеданс, «видимый» источником сигнала R_{in1} , равным выходному полному сопротивлению источника R_s .

Для буферизованного АЦП входной импеданс имеет весьма высокую величину и обладает резистивным характером. В этом случае согласование импедансов выполняется с помощью

резистивного шунта. Рассмотрим пример схемы, показанной на рисунке 6. На этой схеме R_{in_buff} — входной импеданс буфера. Для согласования этого импеданса с импедансом источника R_{source} на входе АЦП включен резистивный шунт R_{sh} , который обеспечивает согласование эффективного входного импеданса R_{in} АЦП с импедансом источника:

$$R_{source} = R_{in} = R_{in_buff} // R_{sh} = \frac{R_{in_buff} \times R_{sh}}{R_{in_buff} + R_{sh}}$$

Отсюда получаем:

$$R_{sh} = \frac{R_{in_buff} \times R_{source}}{R_{in_buff} - R_{source}}$$

Это уравнение дает решение для простой согласующей схемы на основе резистивного шунта для АЦП с буферизованным входом.

Однако проектирование схемы согласования импедансов для АЦП с небуферизованным входом не столь просто. Импеданс в случае небуферизованного АЦП включает в себя реактивные элементы помимо резистивных элементов. В данном случае необходимо помнить, что согласующая схема обычно рассчитывается на определенную частоту сигнала. Причина в том, что входной импеданс самого АЦП является частотнозависимым. Поэтому сначала необходимо определить частоту сигнала, а затем спроектировать цепь согласования импедансов с учетом величины входного импеданса АЦП для этой частоты сигнала. Имеются различные способы согласования импедансов при известной частоте сигнала. Рассмотрим несколько примеров.

Схема согласования импедансов для АЦП с небуферизованным входом может представлять собой катушку индуктивности. Поскольку входной импеданс АЦП имеет емкостной характер, такая индуктивность формирует резонансную цепь (см. рис. 7). Катушка индуктивности подбирается таким образом, чтобы резонансная частота полученной схемы равнялась частоте сигнала. Итак, эта схема обеспечивает чисто резистивное полное сопротивление для источника на частоте сигнала. Для определения номинала индуктивности L используется следующее уравнение, в котором C_{in} — входная емкость АЦП, а f_s — частота сигнала, для которой предназначена согласующая схема:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_s)^2 \times C_{in}}$$

Это уравнение основано на том, что L и C_{in} формируют последователь-

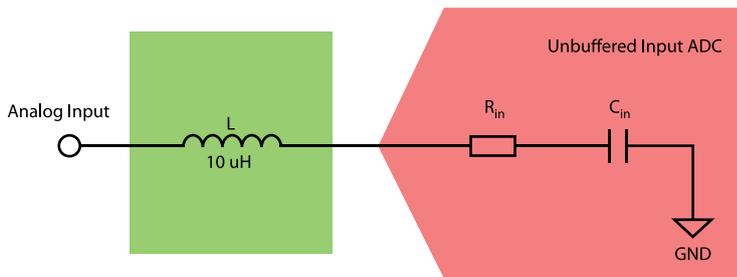


Рис. 7. Резонансное согласование для АЦП с небуферизованным входом

Analog Input — аналоговый вход; Unbuffered Input ADC — АЦП с небуферизованным входом; 10 μ H — 10 мкГн

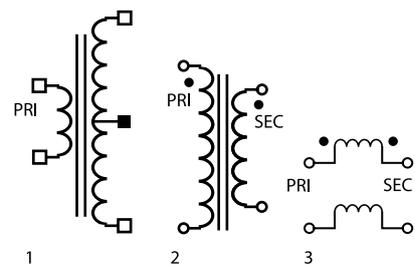


Рис. 8. Примеры конфигурации согласующих трансформаторов в схемах входных интерфейсов АЦП

PRI — первичная обмотка; SEC — вторичная обмотка

ную резонансную схему. Можно также спроектировать согласующую схему с параллельным резонансом. Как только мы избавимся от реактивного компонента полного сопротивления, резистивный компонент можно согласовать с резистивным шунтом, как было показано выше.

В радиочастотных приложениях более популярны согласующие схемы на базе трансформатора. Преимущество трансформаторных схем согласования импедансов заключается в том, что собственно трансформатор не вносит какого-либо шума. Вдобавок к тому, трансформаторная схема выполняет преобразование несимметричного сигнала в дифференциальный, обеспечивая дополнительные преимущества конфигурации АЦП с дифференциальным входом. Реальная согласующая схема между вторичной обмоткой трансформатора и входами АЦП может быть построена разными способами в соответствии с требованиями конкретного приложения.

Во входных интерфейсах АЦП наиболее часто используются конфигурации трансформаторов №1 и №3 (см. рис. 8). Второй вариант весьма похож на №1, однако вариант с отводом от средней точки более распространен. Конфигурация №3 применяется в более высокочастотных приложениях; ее часто называют трансформатором в линии передачи или синфазным дросселем.

Резонансную схему на базе трансформатора подобную той, что на рисунке 7, можно использовать для исключения реактивной составляющей входного импеданса АЦП (см. рис. 9а). Еще одной особенностью трансформаторной схемы согласования является то, что отражения импеданса, видимые со стороны вторичной обмотки трансформатора по отношению к его первичной обмотке, зависят от коэффициента трансформации. Еще один вариант широко используемой схемы согласования на базе трансформатора для основной полосы частот показан на рисунке 9б. На этой схеме резисторы R1 и R2 изолируют входной сигнал от входной емкости АЦП.

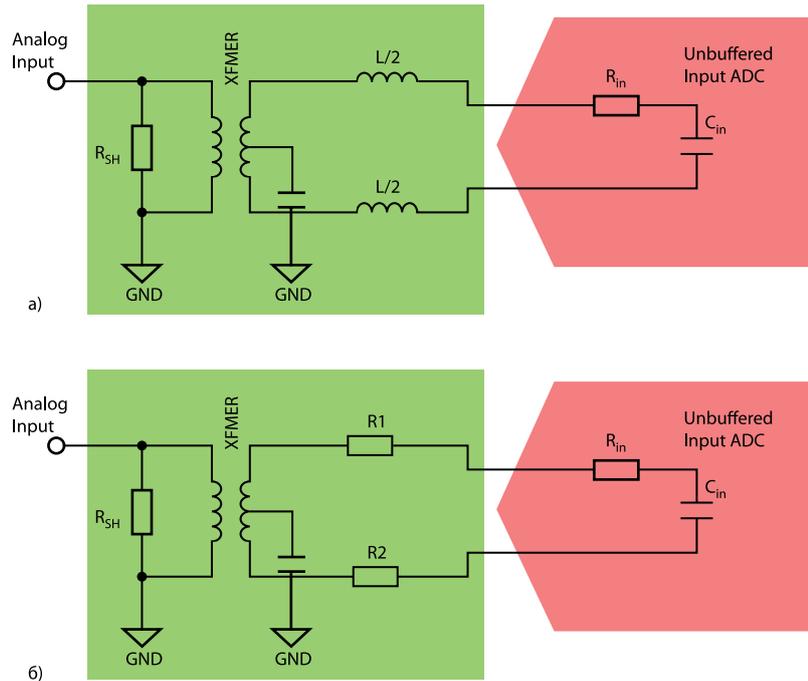


Рис. 9. Согласование импеданса на базе трансформаторной схемы: а) схема для РЧ/ПЧ-приложений; б) схема для приложений основной полосы частот

Analog Input — аналоговый вход; Unbuffered Input ADC — АЦП с небуферизованным входом

Функции блока согласования импедансов, показанного на рисунке 5, не всегда ограничены только задачей согласования импеданса. Этот блок может включать в себя фильтр нижних частот или полосовой фильтр подавления помех в зависимости от системных требований.

При проектировании согласующей схемы нельзя игнорировать влияние этих фильтров на величину импеданса. Кроме того, когда в схеме присутствует такой фильтр, рекомендуется размещать его во вторичной обмотке трансформатора. Это позволяет ограничить уровень помех, проходящих на входы АЦП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sachin Gupta, Akshay Phatak. ADC Guide (Part 12–14)//www.planetanalog.com.
2. Michael Steffes. Measuring & Modeling Wideband Baluns for Application to ADC Input Stages//www.planetanalog.com.

ООО
СМП

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные КОМПОНЕНТЫ

для ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- герметичные разъемы RJ45, M12, USB
- сильноточные катушки индуктивности

Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

ДАТЧИК АБСОЛЮТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ: МАГНИТНЫЙ ИЛИ ОПТИЧЕСКИЙ?

В этой публикации описаны основные параметры магнитного и оптического однокристалльного кодового датчика, соотношения для двух решений, и сравниваются характеристики обеих конструкций датчиков.

ВВЕДЕНИЕ

Требования, предъявляемые к современным датчикам абсолютного положения в отношении точности измерения, размера и стоимости, часто очень разнообразны. Выбор датчика занимает много времени, поскольку необходимо учитывать не только его механическую конструкцию, но и отдельные характеристики, не указанные в техническом описании компонентов. В свою очередь, разработка кристалла интегрального датчика должна основываться на измерениях либо обеспечивать подходящие возможности адаптации.

Как правило, оптические сканеры используют структурные маски для геометрической подгонки фотодиодной матрицы. Однако схожая опция отсутствует в случае с магнитными датчиками Холла; для них следует либо установить матрицу датчиков в кристалле, либо определить образец магнита по топологии кристалла. В обоих случаях небольшие размеры и максимальная производительность являются привычными и труднодостижимыми целями разработки [1]. В этой статье сравнивается 18-бит магнитный однокристалльный датчик Холла iC-MU в 16-выводном корпусе DFN с 18-бит оптическим датчиком iC-LNB в корпусе optoQFN.

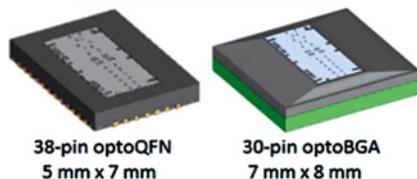
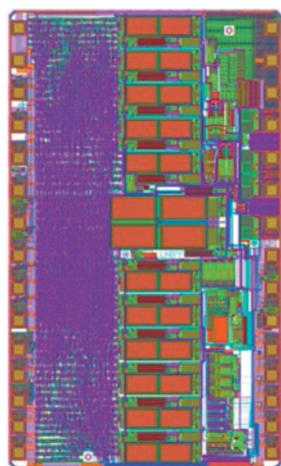


Рис. 1. Оптический сканер iC-LNB

38-pin... — корпус optoQFN с 38 выводами, 5×7 мм; 30-pin... — корпус optoBGA с 30 выводами, 7×8 мм

ДВА ДАТЧИКА, ДВЕ СИСТЕМЫ

Многоканальный оптоэлектронный сканер iC-LNB собирает абсолютные данные положения для систем измерения линейного перемещения или вращающихся датчиков (см. рис. 1). Синхронизованное сканирование 10-бит двоичного кода в дополнение к аналоговому пути сигнала, оцениваемое с помощью интерполяции в реальном времени, обеспечивает высокое угловое разрешение с небольшой шириной кода. Желаемое абсолютное и инкрементное разрешение на выходе вычисляется с помощью внутреннего арифметического устройства FlexCount, позволяющего выбрать любое число импульсов в диапазоне 1–65536.

Ширина кода равна 5,2 мм, что позволяет использовать меньшие кодирующие диски или полые валы больших диаметров. Энергоэффективный светодиод iC-SN85 представляет собой компактный источник света, а iC-LNB контролирует и управляет уровнем освещения. Важная для рабочего цикла логическая обработка также осуществляется в iC-LNB, а более сложные задачи могут выполняться внешним микроконтроллером.

Функции смещения и амплитудной коррекции включены для коррекции сигналов аналогового тракта, которые выводятся в виде дифференциальных синусоидальных и косинусоидальных сигналов с частотой 1024 циклов через четыре вывода порта. Погрешность интерполяции можно уменьшить путем

коррекции сигнала для получения более точных данных о положении.

Данные о положении выводятся по параллельному (до 16 разрядов) или последовательному каналу. Возможны тактовые частоты до 16 МГц при длительности цикла менее 1 мкс. Порт SPI совместим с 3,3-В сигналами. Он позволяет настроить устройство и может использоваться для сканирования данных о положении и получения диагностической информации (например, когда биты контроля четности при контроле запоминающего устройства сообщают об ошибке). Максимально допустимая скорость [3] зависит от разрешения. При разрешении 17 бит достигается скорость 6000 об/мин (см. табл. 1).

Датчик Холла iC-MU, представляющий собой полностью интегрированное однокристалльное устройство, идеально подходит для сканирования магнитных полюсных дисков, полюсных дисков и лент для систем управления движением. К стандартным приложениям относятся датчики абсолютного положения, инкрементные датчики положения и коммутационные датчики для бесщеточных двигателей (см. рис. 2). Данные о положении собираются в реальном времени, передаются по последовательным интерфейсам (BiSS, SSI и SPI) и как инкрементные сигналы. Имеется возможность выбрать любое количество импульсов с помощью внутреннего арифметического устройства FlexCount.

Подходящий эталон магнитного измерения имеет два инкрементных

Таблица 1. Электрические характеристики устройства

Параметр	Оптоэлектронный датчик iC-LNB	Датчик Холла iC-MU
Разрешение	16/17/18 бит	18/19/20 бит
Сигналы коммутации	(по МК)	UVW
Число пар полюсов	(любая)	до 16
Макс. частота вращения двигателя, об/мин	12000/6000/3000	24000/12000/6000
Интерполяция	8-бит вектор (80 нс)	2×12-бит вектор (160 нс)
Выход ABZ (CPR)	1–16384/32768/65536	1–65536
	FlexCount	FlexCount
Отношение фронта А/В, нс	80	40
Последовательный вывод	Регистр сдвига, SSI, SPI	BiSS, SSI, SPI
Синусоидальный/косинусоидальный вывод [CPR]	1024	16/32/64
Параллельный вывод	16 бит	нет
Интерфейс контроллера	SPI	SPI
Конфигурация	по МК	внешний EEPROM (I2C)
Источник питания	4–5,5 В (15 мА)	5 В (50 мА)
Рабочая температура, °С	–40...110	–40...110

пути с шириной полюса около 1,28 мм, где число пар полюсов отличается на одну пару вдоль всей длины измерения. Для оцифровки синусоидальных сигналов датчика Холла используются два синхронных преобразователя. Эти устройства практически без задержки отслеживают изменения вектора поля со скоростью 8 Мвыб/с.

Поскольку между двумя отслеживаемыми сигналами существует сдвиг фаз, интегрированный процессор сигналов с масочным программированием вычисляет абсолютное положение на основе принципа Нониуса [2], в соответствии с которым для получения абсолютного положения движение не требуется. Во вращающихся системах при использовании полюсного диска MU2S 30-32 обеспечивается разрешение 19 бит (эквивалентно 2,5□) и скорость до 12000 об/мин.

Располагая пары полюсов на магнитном полимере над плоским диском, можно создавать компактные системы, оптимальные для прямого монтажа на фланце двигателя. Рабочее расстояние для сканирования в параллельной плоскости составляет около 0,4 мм.

В датчике iC-MU в корпусе DFN 5x5 мм с 16 выводами (см. рис. 2) интегрированы все требуемые функции. Нецентральное, или внеосевое, расположение позволяет использовать полые валы для магнитных датчиков абсолютного положения, имеющих высокое разрешение. При диаметре полюсного диска до 30 мм можно использовать полые валы до 10 мм.

Цифровое положение наклона выводится по интерфейсу A/B/Z при любом требуемом разрешении с коэффициентом интерполяции 1–65536. Благодаря внутреннему арифметическому устройству FlexCount реализуется весь диапазон характеристик с помощью лишь одного датчика, поэтому одну конструкцию можно использовать для датчиков с разными разрешениями, не изменяя эталон измерения. Полностью автономные датчики положения могут также программироваться при их поставке, что уменьшает время выхода устройств на рынок. Кроме того, после сборки можно также запрограммировать нейтральное положение.

Датчик iC-MU генерирует три сигнала коммутации (U, V и W) для управления бесщеточными двигателями постоянного тока [1] с 1–16 парами полюсов. Это обеспечивает ключевое преимущество, поскольку точная электронная регулировка сигналов U/V/W осуществляется в зависимости от положения ротора, исключая необходимость в переключателях на датчиках Холла.

Поскольку датчики iC-MU можно применять в системах с полым валом, круговые датчики положения заменя-

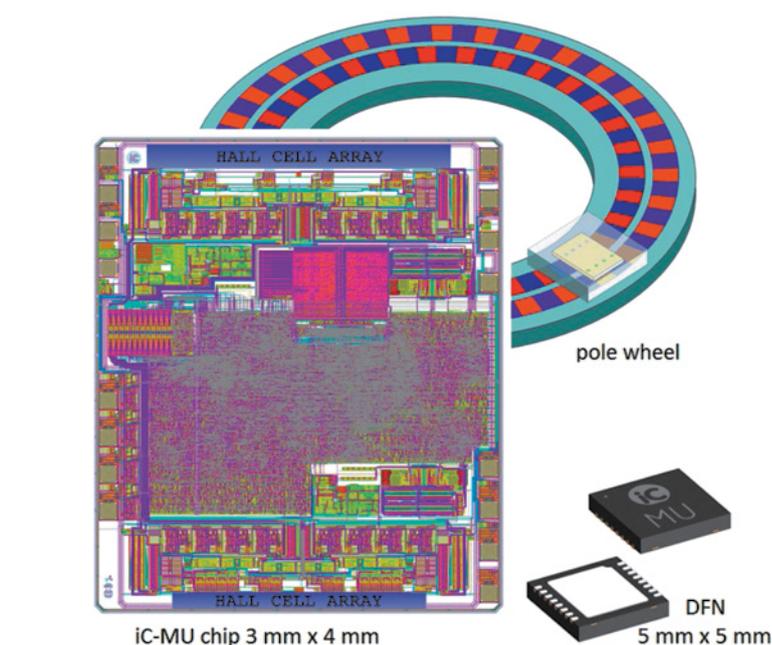


Рис. 2. Кристалл магнитного датчика с магнитным полюсным колесом
Hall Cell Array — массив ячеек Холла; iC-MU chip... — кристалл iC-MU, 3x4 мм; pole wheel — полюсное колесо

ются совместимым модулем. С точки зрения всей системы, это позволяет найти более дешевый вариант замены кругового датчика, обеспечив более точное управление двигателем за счет высокого разрешения.

Доступными интерфейсами являются SPI для прямого подключения к микроконтроллеру, BiSS для двусторонней связи и защищенной CRC-связи для управления по более длинным соединительным кабелям, а также SSI — стандартный интерфейс датчика. Все интерфейсы работают с тактовой частотой до 10 МГц.

Вход данных iC-MU поддерживает системы с несколькими подчиненными устройствами по BiSS для каскадного включения нескольких датчиков положения со сбором данных, синхронизованных по тактовой частоте. Если для установки и запуска подключается эталонный датчик, абсолютная точность записывается на максимальной скорости, оценивается и корректируется микроконтроллером, при условии что система допускает применение МК в качестве альтернативного выходного интерфейса.

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Датчики iC-MU выполняют абсолютные измерения линейных расстояний 40, 80 или 160 мм с разрешением около 160 нм. При измерении больших расстояний два устройства подключаются каскадно, что увеличивает максимально возможное абсолютное расстояние в 2–64 раза (см. рис. 3). В результате создаются системы абсолютного измерения расстояний в несколько метров при скорости прохождения до 16 м/с.

Например, устройство на рисунке 3 определяет абсолютное положение от среднего пути за 1024 цикла и от верхнего пути — за 1023 цикла. Сдвиг по фазе определяется по всей длине измерения в 2,6 м. Устройство iC-MU (1) вычисляет сдвиг по фазе между средним путем с 1024 циклами и нижним с 992 циклами. Это устройство генерирует значения положения, повторяющиеся 32 раза вдоль всей длины измерения. Информация от iC-MU (2) используется для различения 32 сегментов.

Кроме каскадного включения двух датчиков Холла iC-MU можно использовать другие многовитковые датчики (например, сканеры ступеней зубчатого редуктора) для подачи данных в iC-MU. Данные считываются автоматически после включения напряжения питания и циклически проверяются в режиме измерения.

Сравнение обеих систем для вращающихся датчиков

Для обоих датчиков положения выбирались конструкции, позволяющие создать небольшое и недорогое устройство без ущерба для точности измерения (см. рис. 4). Хотя устройства созданы с помощью разных принципов проектирования схем, их функции схожи в отношении производительности (см. табл. 1): высокое абсолютное разрешение в реальном времени и инкрементные сигналы с любым количеством программируемых импульсов.

К числу других определяющих факторов, которые учитываются при выборе схемы основной системы, относятся, например, сфера применения и требуемая точность измерения. В таблице 2

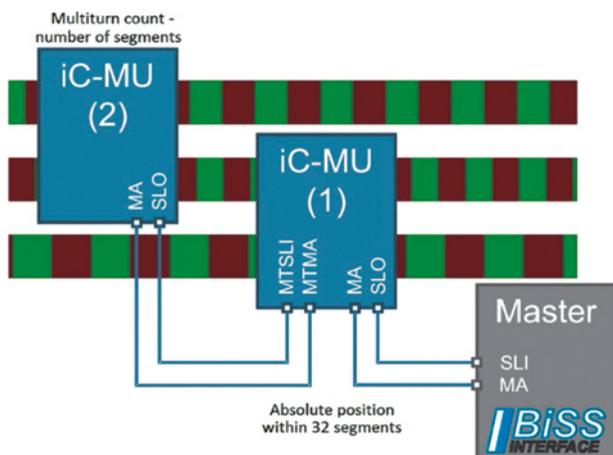


Рис. 3. Каскадирование устройств для линейных измерительных систем и большого полого вала
Multiturn count... — многовитковый подсчет — число сегментов; Absolute position — абсолютное положение в 32 сегментах; Master — главное устройство

сравниваются основные параметры датчиков.

При безошибочном электронном оценочном измерении погрешности шага эталона представлены в виде абсолютной погрешности измерения. Например, при сравнении стандартной точности намагниченности 15 мкм с линейной точностью оптического кодирующего диска 300 нм разница очевидна. С помощью радиуса сканирования (см. табл. 3) это значение можно преобразовать в угловую погрешность. Теоретически она равна $0,07^\circ$ (252^\square) для

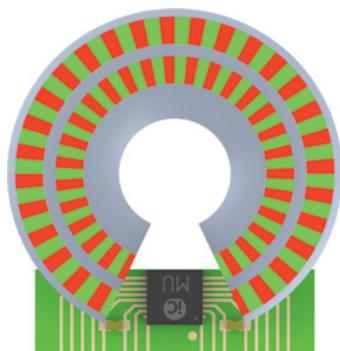
магнитной системы и примерно $0,0018^\circ$ ($6,4^\square$) для оптической системы. Другие источники погрешностей преобладают в оптической системе, что дает суммарную погрешность $0,011^\circ$ (40^\square).

Пользователи выбирают конкретную систему по ее ключевым преимуществам и недостаткам. Например, магнитная система имеет ряд сильных сторон, включая стойкость к внешним воздействиям, например пыли, маслу и влаге. Она также обеспечивает большее рабочее расстояние, гарантирующее осевой люфт и значительные допу-

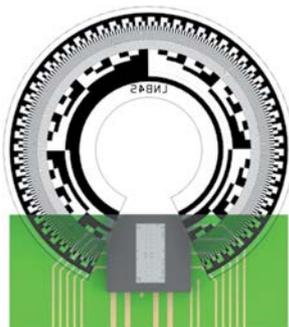
ски на монтаж для простоты сборки. Также возможно общее проектирование, поскольку система не требует светодиодов или оптики.

Для разработчика кристаллов сигнал датчика играет важнейшую роль при проектировании схемы. Оптический датчик считывает угол поворота оси с помощью данных о распределении света и интенсивности, поступающих с оптического кодирующего диска. Ошибок визуализации следует избегать для обеспечения высокой контрастности сигнала. Для решения этой проблемы применяются специальные светодиоды датчиков, обеспечивающие однородный направленный свет (iC-SN85). Это позволяет генерировать фототоки примерно 200 нА, что при взаимном полном сопротивлении 1 МОм дает напряжение сигнала 200 мВ.

Для магнитного датчика представляют интерес компоненты поля, расположенные вертикально к кристаллу. Эффект Холла обеспечивает направленное напряжение в несколько мВ в зависимости от напряженности магнитного поля в направлении Z. Один элемент Холла измеряет только расстояние до магнита, поэтому несколько элементов отслеживают поле Z в разных положениях, поэтому информацию об угле можно определить путем оценки локальных



Magnetic pole wheel and single-chip encoder iC-MU



Optical code wheel and single-chip encoder iC-LNB

Рис. 4. Основная сборка и сравнение размеров: магнитный кодирующий диск и однокристалльный датчик iC-MU (вверху); оптический кодирующий диск и однокристалльный датчик iC-LNB (внизу)

Таблица 2. Сравнение характеристик оптических и магнитных датчиков

Параметр	Характеристики оптического датчика	Характеристики магнитного датчика Холла
Принцип	кодированный диск/шкала, по компоновке лучей	магнит/лента/полюсный диск напротив датчика
Инкрементная точность эталона	100 нм...1 мкм (литография)	5...30 мкм (намагничивание)
Включение питания	по внешнему светодиоду (Робц 20 мВт)	по эталону (Br > 220 мТл)
Уровень тип. сигнала	30 нА...1 мкА	2 мВ при 20 кА/м; 10 мВ при 50 кА/м
Уровень тип. сигнала, поправка на температуру	-40...-80% при 100 К ухудшение КПД светодиода	-60% при 100 К
Сдвиг тип. сигнала (в отношении его амплитуды)	50%	25...250%
Частота сигнала	> 1 МГц	обычно ограничена < 50 кГц
Преимущества	высокая плотность и точность кода	надежность
Недостатки	чувствительность к загрязнению, высокие требования к выравниванию	исходная плотность кода, средняя точность кода

Таблица 3. Механические данные и допуски на сборку

Параметр	Оптоэлектронный датчик iC-LNB	Датчик Холла iC-MU
Эталон измерения	LNB4S 26-1024	MU2S 30-32
Диаметр, мм	26	30
Расверленное отверстие, мм	9,6	10
Размер кода/длина сканирования, мм	5,6/5,2	6...7/3,6
Число путей	11 (с синусоидальным)	2
Ширина линии / ширина полюса	29 мкм/-	-/1,28 мм
Радиус сканирования, мм	9,6 (синусоидальный)	13,0 (главное устройство)
Рабочее расстояние Z, мм	0,15	0,4
Допуск на рабочее расстояние ΔZ, мм	0,1	±0,2
Тангенциальная погрешность ΔX, мм	0,1	±0,2
Радиальная погрешность ΔR	±20 мкм	±0,1 мм
Допуск на угол наклона ΔPHI, °	1,1	2,2

градиентов. Датчик Холла должен «ощутить» изогнутое ближнее поле эталона магнитного измерения. Поскольку полярность напряжения Холла соответствует направлению поля, северный магнитный полюс можно отличить от южного, что позволяет определить абсолютный угол в пределах полюсной пары.

В лучшем случае элементы Холла могут генерировать только напряжение 10 мВ от поля диска магнитного полюса. Чтобы обеспечить разрешение оптической системы, необходимо ограничить полосу частот сигнала. Для формирования сигнала элементы Холла оцениваются с заданной частотой сканирования и фильтрацией. Датчик Холла действует как аналоговый фильтр нижних частот с пороговой частотой примерно 20 кГц. Однако на практике более длительная задержка распространения сигнала не играет роли.

Допуски на сборку и функции компенсации

В обеих системах применяются цепи быстрой интерполяции в реальном времени в качестве следящих за векторами преобразователей с арктангенсным преобразованием. Качество определения преобразователями сдвига, фазы, соотношения амплитуды и обеспечения колебаний без гармоник зависит от аналоговых синусоидальных/косинусоидальных сигналов датчиков. Однако отклонения от оптимального положения монтажа вызывают ошибки сигнала, снижающие точность интерполяции. Для обеспечения точности измерения обе системы допускают статическую коррекцию ошибок, вызванных монтажом, и регулируют путь аналогового сигнала с помощью нескольких интегрированных цифроаналоговых преобразователей.

Калибровка электронных сигналов повышает степень механической свободы (см. табл. 3). Датчики iC-MU также позволяют корректировать синусоидальный/косинусоидальный сдвиг по фазе, а также компенсировать погрешность радиального выравнивания. После установки и калибровки выбранная рабочая точка поддерживается автоматическими функциями. В случае оптического датчика интегрированный светодиодный регулятор мощности компенсирует падение КПД светодиода, вызванное повышением температуры. Датчик Холла имеет регулировку усиления для компенсации изменений напряженности поля при изменении расстояния до магнитного полюсного диска.

Возможные источники ошибок

Если датчик Холла не выровнен по оптимальному радиусу сканирования, синусоидальные сигналы искажаются. В случае радиального смещения (ΔR) устройство не определяет эталон измерения или сегментированные полюса

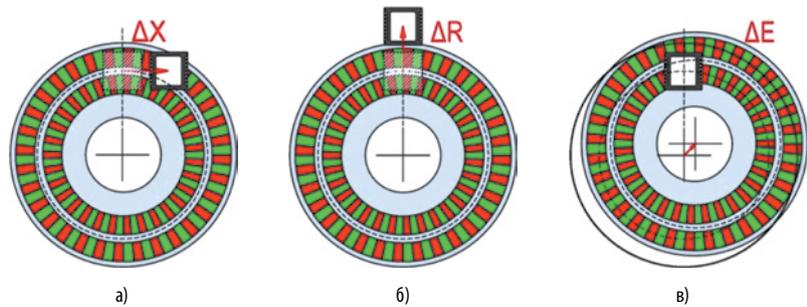


Рис. 5. Стандартные погрешности выравнивания

под правильным наклоном (см. рис. 5б). В таком случае появляется постоянная ошибка сдвига между синусоидальным и косинусоидальным сигналом от сканирования Холла. Однако ее можно компенсировать с помощью интегрированного устройства коррекции сигнала. Ошибка измерения из-за погрешности радиального выравнивания рассчитывается по следующей формуле:

$$ERR_{RAD} = 90^\circ \left(\frac{D + \Delta R}{D} - 1 \right), \quad (1)$$

Формула 1 определяет погрешность фазы электрического тока сигналов датчика, где D — диаметр сканирования и ΔR — радиальное смещение. Например, связанное с синусоидальными периодами радиальное смещение датчика Холла в 0,1 мм вызывает фазовую ошибку 0,35° при диаметре сканирования 26 мм. При расчете механической угловой погрешности на один оборот результат следует разделить на число пар полюсов. Стандартный диск имеет 32 пары полюсов, что составляет механическую угловую погрешность 0,01°.

С другой стороны, устройство с тангенциальным смещением (ΔX) оказывает более-менее одинаковое влияние на сдвиг фазы электрического тока обоих сигналов пути (см. рис. 5а). Наклон изменяется лишь незначительно, а разность фаз для расчета абсолютного значения остается практически неизменной.

Однако эталон измерения (ΔE), установленный со смещением, вызывает колебание устройства (см. рис. 5в). Чем меньше диаметр, тем больше изменяется наклон эталона измерения. На большой длине возникает погрешность отсчета, уменьшающая абсолютную точность измерения. Формула 2 определяет погрешность измерения при смещении относительно центра:

$$ERR_{WOB} = 360^\circ \cdot \frac{\Delta E}{2r}, \quad (2)$$

Эксцентрическая погрешность накапливается в результате смещения эталона измерения ΔE относительно оси вращения и ширины полюса r у эталона измерения. Соответственно, эксцентрическая погрешность 10 мкм вызывает фазовую погрешность 1,4° в отношении

синусоидального периода или угловую погрешность 0,05° при механическом вращении (см. размеры в таблице 3; расчет для стандартного диска с диаметром сканирования 26 мм, шириной полюса 1,28 мм и 32 парами полюсов). При определении разности фаз для расчета Нониуса [2] эксцентрическая погрешность лишь незначительно влияет на оба пути сигнала в одинаковой степени.

За полный механический оборот 360° угловая точность лучше $\pm 0,1^\circ$. Точность намагничивания имеет систематические ограничения; если отдельные полюса отличаются, смещение незначительно. Этот эффект наблюдается при 45 и 90° (см. рис. 6). Механическое соединение оси с эталонным датчиком может также вызвать погрешность центрирования, которая наблюдается в виде незначительного длинноволнового отклонения в течение одного оборота.

Выводы

У магнитных датчиков следующий ряд преимуществ: высокая надежность, высокая стойкость к ударам и вибрациям, отсутствие хрупких деталей и стойкость к загрязнениям и влаге. Однокристалльный датчик Холла iC-MU позволяет использовать полые сквозные валы и обеспечивает разрешение, до настоящего времени достижимое только оптическими датчиками. Однако если сфера применения требует высокой точности измерения, преимущество имеют оптические датчики, например iC-LNB. Однако для их монтажа требуется больше места. Учитывая малые размеры корпусов optoQFN и optoBGA, приемлемым вариантом являются однокристалльные оптические датчики. В этих рамках выбор лучшего варианта определяется условиями конкретного приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение производительности систем управления движением с однокристалльным датчиком. Информационный документ iC-Haus.
2. Нониусная шкала в цифровом виде. Joachim Quasdorf. Sensors Magazine. 1/2009.
3. Быстрое и простое измерение изменений положения. Информационный документ iC-Haus.

ТАКТОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ СПЕКТРОМ

ВИКТОР КОЧЕМАСОВ, к.т.н., ЕЛЕНА ХАСЬЯНОВА, м.н.с., ООО «Радиокомп»

В статье рассматриваются способы снижения уровня электромагнитных помех и рассказывается о преимуществах использования для этой цели тактовых генераторов с распределенным спектром.

Многие цифровые системы: ПК, коммуникаторы, принтеры, сканнеры, цифровые источники питания могут излучать электромагнитные волны, которые повышают их радиозаметность и создают помехи для работы близлежащих устройств. Поэтому к любому электронному устройству предъявляются требования по электромагнитной совместимости (ЭМС — **electromagnetic compatibility** — EMC). Одним из основных источников электромагнитных помех (ЭМП — **electromagnetic interference** — EMI) являются генераторы тактовых импульсов, обеспечивающие синхронную работу этих изделий, поскольку частота тактового генератора, как правило, превышает остальные рабочие частоты. Помимо основной частоты в спектре этих импульсов содержатся высокочастотные гармоники, которые также являются источниками ЭМП. Например, в спектре периодических прямоугольных импульсов содержится бесконечное число нечетных гармоник основной частоты.

Существует несколько способов уменьшения уровня ЭМП: фильтрация, изменение времени нарастания/спада тактовых импульсов, экранирование, использование генераторов с расширением спектра. Фильтрация позволяет ослабить гармоники только высшего порядка. Увеличение времени нарастания/спада существенно снижает уровень ЭМП на гармониках тактовой частоты, однако не влияет на ЭМП основной частоты. Наиболее эффективным способом снижения ЭМП является экранирование всего изделия или источника излучений. Для носимых устройств такой подход нежелателен из-за увеличения массогабаритных показателей и стоимости производства. В связи с этим достаточно широко распространение получили генераторы с технологией расширения спектра (SSCG — **spread spectrum clock generator**), обеспечивающие снижение помех не только на основной частоте тактового генератора, но и на ее гармониках для всех сигналов, синхронных с тактовым, независимо от местоположения.

В классических тактовых генераторах спектральная плотность мощности

сосредоточена вблизи несущей частоты и ее гармоник, что может стать причиной нарушения норм ЭМС и получения несанкционированного доступа к обрабатываемой информации. В генераторах с расширением спектра используется частотная модуляция, вследствие чего уровень ЭМП существенно снижается (см. рис. 1).

Использование такой технологии позволяет уменьшить пиковое значение спектральной плотности мощности. Достижимый эффект от размытия спектра будет зависеть от вида модулирующего колебания. Обычно применяют синусоидальное, пилообразное или кубическое (известное также под названиями Lexmark или Hershey-Kiss™) модулирующие напряжения (см. рис. 2). Форма последнего считается наиболее эффективной, поскольку обеспечивает снижение уровня ЭМП на 1,5 дБ по сравнению с применением пилообразной формы напряжения. Однако реализация такой формы модулирующего напряжения оказывается существенно сложнее. В связи с этим чаще всего применяется

пилообразная форма модулирующего напряжения.

Результирующее снижение уровня ЭМП при использовании тактовых генераторов с расширением спектра находится в диапазоне 7...20 дБ (см. табл. 1) и зависит не только от вида модуляции и типа корпусирования, но и от параметров модуляции:

- глубина модуляции (modulating rate) — время, за которое тактовая частота изменится на Δf и вернется в исходное состояние;
 - коэффициент расширения (spreading rate — δ) — отношение девиации частоты $\Delta f = f_0 - f_c$ к несущей частоте сигнала без модуляции (f_c);
 - тип расширения (spreading style).
- На рисунке 3 представлены возможные виды расширения спектра:

- симметрично относительно центральной частоты (Center spreading, рис. 3а);
- с понижением относительно центральной частоты (Down-spreading, рис. 3б). Используется при невозможности повышения тактовой частоты ($f_0 > f_c$);

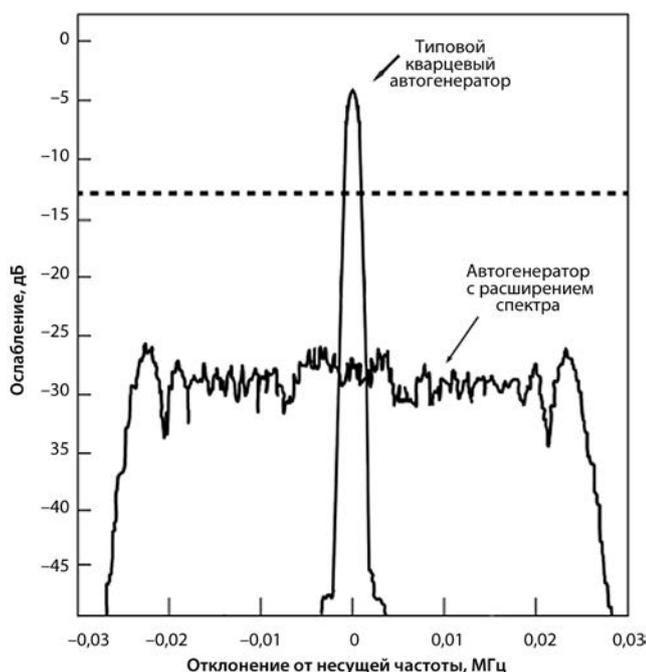


Рис. 1. Сравнение уровня ЭМП типового кварцевого автогенератора и генератора с расширенным спектром

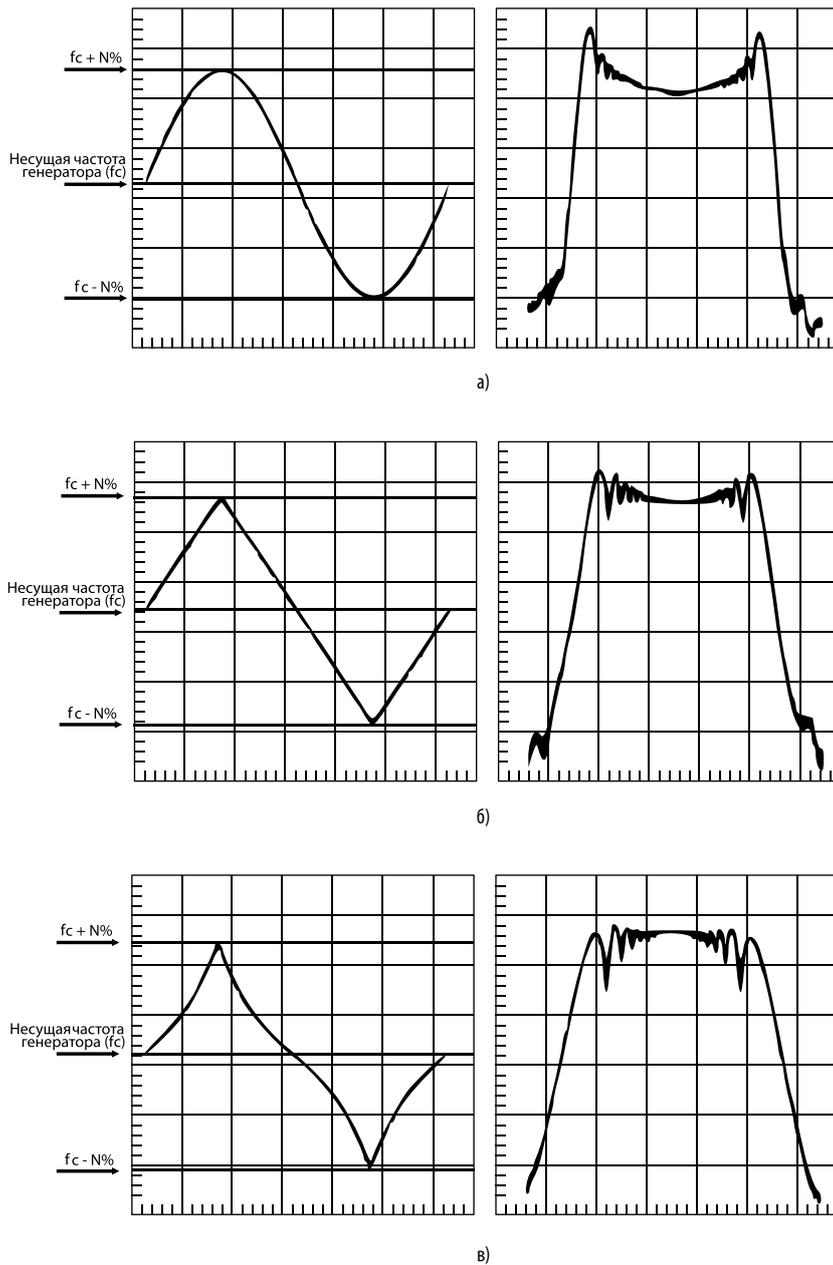


Рис. 2. Схематичное изображение спектральной плотности мощности в зависимости от формы модулирующего напряжения: а) синусоидальная, б) пилообразная, в) кубическая.

- с повышением относительно центральной частоты (UP-spreading, рис. 3в);
- ассиметричное расширение (Asymmetric spreading or down-center spreading, рис. 3г). Применяется только компанией Mersuqy.

Ассортимент производимых генераторов с расширением спектра разнообразен и позволяет подобрать как экономичные решения для потребительской электроники, так и генераторы с повышенной долговременной стабильностью частоты для применения в телекоммуникационных системах и других высокопроизводительных устройствах.

Отметим особенности некоторых генераторов с расширением спектра. Тактовые генераторы с расширением спектра компании SiTime Corp.

выполнены на МЭМС-резонаторах (MEMS — Microelectrochemical system-based resonators) для увеличения ударопрочности и виброустойчивости по сравнению с кварцевыми резонаторами. У модели DS1086 SSCG от Dallas Semiconductor (Maxim Integrated) в силу конструктивных особенностей при расширении спектра 0% фактическое значение этого параметра варьируется в диапазоне 0,5...1%.

Тактовые генераторы с применением технологии расширения спектра позволяют снизить помехи от

РАДИОКОМП **ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ**

www.radiocomp.ru

 Широкий спектр кварцевых генераторов	 Высокостабильные ОСХО для частот 70...120 МГц
 Малошумящие кварцевые генераторы	 Высокоскоростные источники тактовых сигналов

Таблица 1. Модели SSCG

Модель	f _{выст} МГц		(Δf/f) ¹ , ppm	Расширение спектра, % center/down ²	Снижение ЭМП ³ , дБ	U _{нмр} ³	Траб., °С
	Мин.	Макс.					
Abracon Corp.							
ASSM	4	128	±25...±50	± 0,3 ... ±1,4/-1,4...-3	≥ -20	5,0 ±5%	-40...+85
ASSML						3,3 ±5%	
ASSV	5	160	± 100	± 0,5; ±1,5/-1...-3	-7 ...-15	3,3 ±5%	0...+70
ASSFL	6	160	±100	±0,5; ±1,5/-1; -3	-7 ...-15	3,3 ± 0,5 %	
ASSFLP	8	160	±50	±0,125 ... 2,0/-0,25...-4,0	-7...-15	2,97...3,63	-40...+85
ASSL1	8	128	±100	± 0,3... ±1,4/-1,4...-3	≥ -20	5,0 ±5%	
ASSV1						3,3 ±5%	
ASSVJ	13	200	± 100	± 0,25 ... ±1,875/-0,5 ...-3,75	≥ -20	3,3 ±5%	0...+70
ASSVP	10	160	± 50	± 0,125 ... ± 2,0/-0,25... -4,0	-7...-12		-40...+85
DALLAS Semiconductors							
DS1086L	0,13	66	±5000	-0,5 ... -8	-	2,7...3,6	-40...+85
DS1087L	0,13	66	±7500	±2; ±4	-		
DS1089L	0,13	66,6	±7500	±1...±8	-		
DS1086	0,26	133	±12500	-2; -4	-	4,75...5,25	0...+70
Ecliptek Corp.							
EPSA12	2	166	±50	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-	2,5 ± 5%	-40...+85
EPSA22	2	166	±50	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-		
EPSA13	2	200	±50	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-	3,3 ±10 %	
EPSA23	2	200	±50	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-		
Euroquartz, Ltd.							
18EQHM32	12,5	42,0	±25...±100	±0,25... ±1/-0,5...-2	-12...-18	1,8±3,3 %	-40...+85
3EQHM57N	8	128	±25...±100	±1,4... ±0,4/-1,7...-3,0	-8 ... -15	3,3 ±10%	
18EQHM572	12,5	42,0	±25...±100	±0,25... ±1/-0,5...-1	-12...-18	2,5 ± 5%	
18EQHM53	12,5	42,0	±25...±100	±0,25... ±1/-0,5...-2	-12...-18		
Fox Electronics							
FSS52	13	160	±100	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-	2,5 ± 5%	-40...+85
FSS53	13	160	±100	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-	3,3 ± 10%	
FSS72	13	160	±100	±0,25... ±2,0/-0,5 ... -4,0	-	2,5 ± 5%	
FSS73	13	160	±100	±0,25... ±2,0/-0,5...-4,0	-	3,3 ± 10%	
Mercury Electronic Ind. Co., Ltd.							
3HM57-R	3.5	165	-	± 0,25 ... ± 1,5/-0,5...-3,0	-15	3,3 ±5%	-40...+85
3HM53-R	6.0	160	-	± 0,25 ... ± 1,5/-0,5...-3,0			
3HM57-Y	8.0	165	-	±0,5... ±1,5/-1,0; 3,0			
3HM53-Y	10.0	160	-	±0,55... ±1,5/-1,0...-3,0			
3HM57-P	13.0	220	-	±0,25... ±1,875/-0,5...-3,75	-19		
Seico Epson							
SG-9001 CA	10	166	-	±0,25 ... ±2,0/-0,5...-4,0	-	3,3 ± 9 %	-20...+70
SG-9001 LB	10	135	-	±0,25... ±2,0/-0,5...-4,0	-		
SG-9001 JC	10	166	-	±0,25... ±2,0/-0,5...-4,0	-		
SiTime Corp							
SiT9003	1	110	±50, ±100	±0,25; ±0,50/-0,5; 1	≥ -12	1,8...3,3%	-40...+85
SiT9001	1	200	±50, ±100	±0,25... ±1/-0,5...-2			
SiT9002	1	220	±25, ±50	±0,25... ±2,0/-0,5...-4,0			

¹ (Δf/f) — стабильность частоты, частей на миллион;

² center/down — расширение спектра симметрично/с понижением относительно центральной частоты;

³ указаны значения для первой гармоники

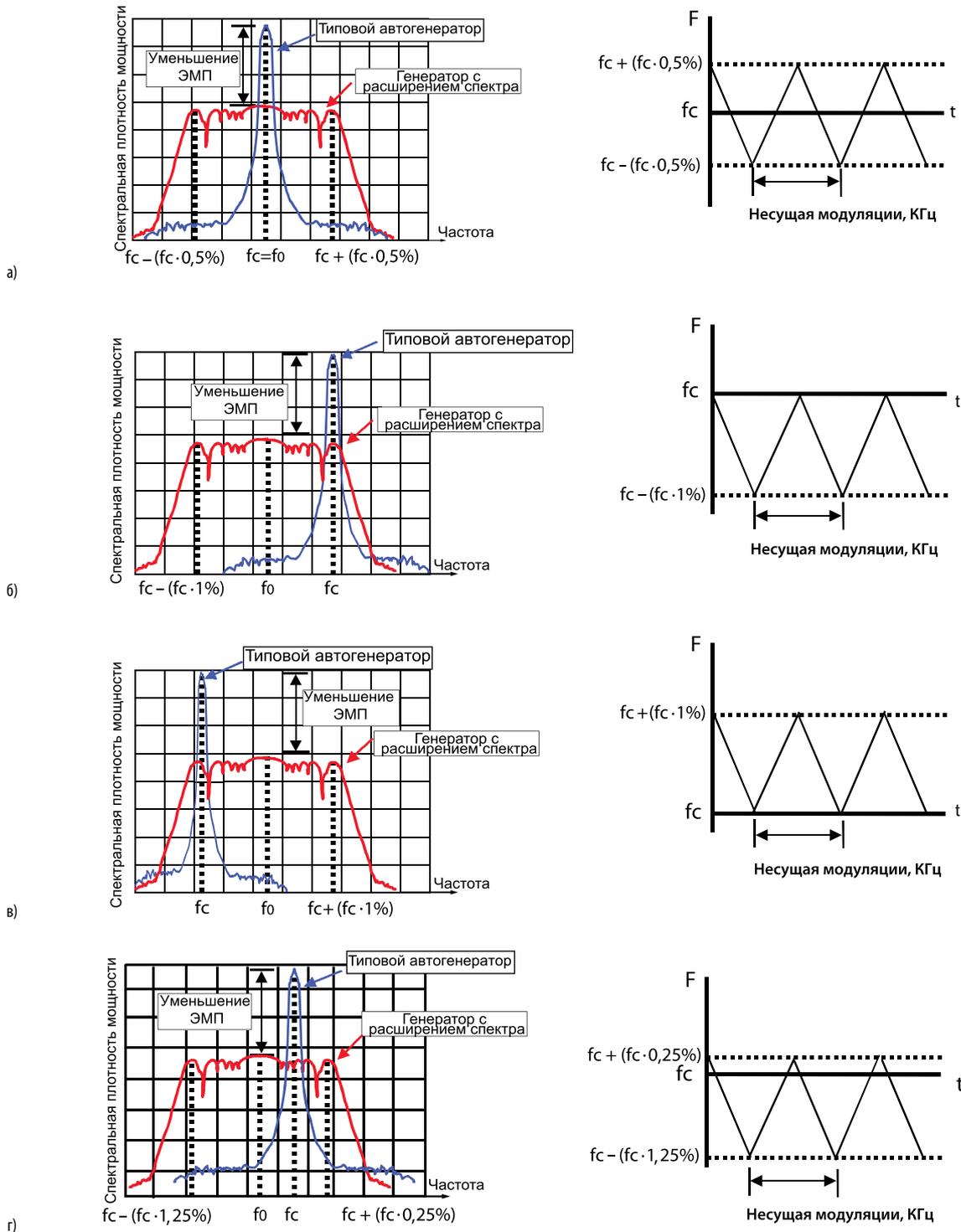


Рис. 3. Типы расширения спектра, применяемые в тактовых генераторах (SSCG): а) симметрично относительно центральной частоты (*Center spreading*); б) с понижением относительно центральной частоты (*Down-spreading*). Используется при невозможности повышения тактовой частоты ($f_0 > f_c$); в) с повышением относительно центральной частоты (*UP-spreading*); г) асимметричное расширение (*Asymmetric Spreading or Down-Center Spreading*). Применяется только компанией Mercury

всех сигналов, синхронных с тактовым, сократить время, необходимое для разработки устройств, отвечающих требованиям электромагнитной совместимости и уменьшить его стоимость. Сложности в применении генераторов с расширением спектра может вызвать их работа с интерфейсами ввода/вывода USB 2.0, Can, Ethernet, поскольку в них не предусмотрены функции буферизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Табатабаи. Управление тактовым сигналом при подавлении электромагнитных помех//Электронные компоненты, №7, 2011.
2. Л. Белов. Опорные генераторы// Электроника: НТБ №6, 2004.
3. Using Spread Spectrum Oscillators to Reduce Radiated Emissions in Consumer Products// <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN1995.pdf>
4. A. de M. Luca. Spectrum shaping and its application: spread-spectrumclock generator

and circuits for Ultrawide Band//PhD Thesis, Jan. 2005 — Dec. 2007.

5. Clock generation with Spread Spectrum//<http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN1995.pdf>.

6. EMI problems?//<http://www.mercury-crystal.com>.

7. J. Browne. Spread Spectrum Clocks Cut EMI//<http://mwrf.com>.

8. Дирк Фишер. Улучшение ЭМС с помощью широкополосных генераторов частоты//Электронные компоненты №7, 2012.

ПРИМЕНЕНИЕ MEMS-ТЕХНОЛОГИЙ В ЧАСАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

ПОЛ НАНН (PAUL NUNN), руководитель направления, Maxim Integrated Products

В статье приводится пример использования MEMS-технологии при разработке надежных, миниатюрных и точных часов реального времени.

Применение технологии микро-электромеханических систем (Micro-ElectroMechanical Systems — MEMS) обеспечило часам реального времени (RTC) высочайшую точность, долговременную и температурную стабильность, а также заметное сокращение размеров по сравнению с часами на базе традиционных цилиндрических кварцевых резонаторов.

Технология MEMS-резонаторов, которые занимают в 47 раз меньшую площадь и в 182 раза меньший объем, чем 32,768-кГц цилиндрический кварцевый резонатор камертонного типа, позволяет использовать для RTC более

компактные корпуса и расширить их выбор. Такое различие в размерах способствует также значительному повышению надежности работы прибора в средах с высоким уровнем вибраций и механических ударов, а также снижению или полному отсутствию старения ($< \pm 1$ ppm) на протяжении всего срока службы. Однако компактный размер — не единственное достоинство MEMS. Существует четыре области, где характеристики MEMS гарантируют значительные технические преимущества:

- технологические процессы и разработка;
- сборка и производство;

- обеспечение устойчивости к воздействию окружающей среды;
- контроль рабочих параметров продукции и возможность обслуживания на месте эксплуатации.

На этапе окончательной сборки и в процессе производства MEMS-часы реального времени выгодно отличаются от кварцевых аналогов благодаря четырем важным факторам.

- Во-первых, MEMS фактически представляет собой интегральную схему (ИС), поэтому для объединения MEMS с управляющим кристаллом/RTC можно использовать стандартные технологии корпусирования ИС.

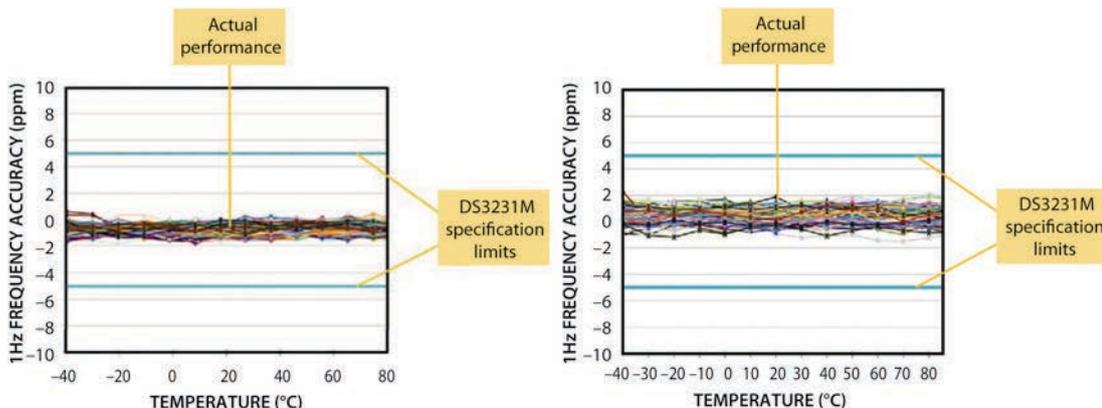


Рис. 1. Данные для часов реального времени DS3231M до пайки оплавлением (1а, слева) и после пайки оплавлением (1б, справа). Уход частоты не превышает ± 1 ppm.

Actual performance — реальные рабочие характеристики; DS3231M specification limits — установленные допуски DS3231M; TEMPERATURE (°C) — температура (°C); 1HZ FREQUENCY ACCURACY (ppm) — точность частоты 1 Гц (ppm)

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА MEMS- И КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Обсуждаемая в статье технология MEMS-резонаторов была разработана на заводах со стандартными КМОП-процессами. Преимущество КМОП-производства состоит в том, что частотные характеристики, определяемые формой и размером элементов прибора, задаются на этапе фотолитографии. Поскольку MEMS является полупроводниковой технологией, воспроизводимость и стабильность во многом зависят от производства MEMS-пластин.

В процессе обработки MEMS-пластин температура может превышать 700°C, однако MEMS-резонатор способен выдерживать многократное повышение температуры до 260°C при пайке оплавлением без ухудшения рабочих характеристик. Такая надежность достигается благодаря составу материала, конструкции и процессу обработки пластины.

В отличие от MEMS, при сборке кварцевых резонаторов (и это вполне понятно) воспроизводимость намного ниже, что приводит к значительным вариациям характеристик конечной продукции.

Настройка и подгонка частоты требуют, как правило, напыления или удаления материала с электрода для достижения требуемых значений. Кроме того, чтобы колебания, возникающие при подаче напряжения на кварцевый резонатор, не затухали, в цилиндрическом корпусе необходимо создать вакуум. При изготовлении высококачественных приборов нужны также специальные материалы для крепления выводов кварцевого резонатора. Благодаря этим материалам кварцевый резонатор способен выдержать высокотемпературные (~260°C) операции пайки оплавлением.

Тем не менее, существует одно ограничение. Следует с осторожностью подвергать кварцевые резонаторы многократному воздействию циклов высокотемпературной пайки оплавлением. Уход частоты может быть обусловлен старением материала, контактирующего с кристаллом, качеством вакуума и/или дефектами кристаллического элемента.

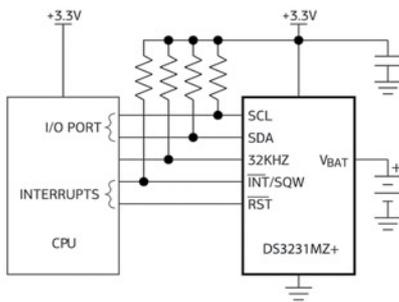
Часы реального времени

на базе MEMS-резонатора, точность ± 5 ppm



DS3231MZ+, DS3232MZ+

для промышленных применений с температурной компенсацией, встроенным MEMS-резонатором и повышенной механической устойчивостью.



- Не требуют внешнего резонатора
- Устойчивость к ударам и вибрациям свыше 50 g
- Точность ± 5 ppm ($\pm 0,4$ секунды в день) в диапазоне температур от -40 до $+85$ °C
- Интерфейс I²C
- Корпус SO-8
- 236 байт SRAM (DS3232MZ+)

Закажите бесплатные образцы, направив запрос по электронной почте maxim@symmetron.ru
Логотип Maxim Integrated – торговая марка Maxim Integrated Products, Inc.

Группа компаний
Симметрон

www.symmetron.ru

МОСКВА

Тел.: (495) 797-5535, -45
moscow@symmetron.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Тел.: (812) 449-4000, -05, -06
spb@symmetron.ru

КИЕВ

Тел. +38 (044) 494-2525
kiev@symmetron.ua

НОВОСИБИРСК

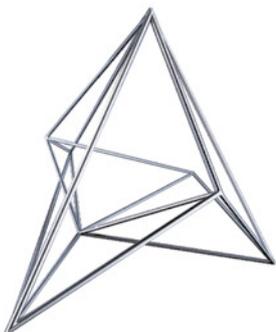
Тел. (383) 361-3424
sibir@symmetron.ru

МИНСК

Тел. +375 (17) 336-0606
minsk@symmetron.ru

ХАРЬКОВ

Тел. +38 (057) 750-8022
kharkov@symmetron.ua



В отличие от MEMS, для того чтобы объединить кварцевый резонатор и кристалл RTC в одном корпусе, требуются специальные производственные процессы.

- Во-вторых, чтобы обеспечить электрический контакт между управляющим кристаллом и MEMS-резонатором, используют проводное соединение. При сборке кварцевых резонаторов для этого приходится использовать более сложное и менее надежное соединение при помощи пайки или сварки.
- В-третьих, высокоэффективные операции проводного соединения и стандартные процессы корпусирования хорошо подходят для массового (крупносерийного), менее дорогостоящего производства и сборки.
- В-четвертых, благодаря гораздо меньшим размерам MEMS-резонаторов их можно устанавливать в более компактные корпуса, в т.ч. размером с кристалл, что невозможно в случае кварцевых резонаторов.

Микросхема DS3231S RTC предыдущего поколения на базе кварцевого резонатора выпускалась в 16-выводном корпусе SO шириной 7,62 мм, а сопоставимая с ней по функциональности и рабочим характеристикам микросхема DS3231MZ+ RTC — в 8-выводном корпусе SO шириной 3,81 мм. Размеры 8-выводного корпуса SO составляют менее половины от размеров 16-выводного корпуса.

DS3231M — это термокомпенсированная микросхема RTC, в которой для снижения числа механических отказов вместо кварцевого резонатора используется внутренний MEMS-резонатор. В 16-выводную микросхему интегрированы различные системные функции, включая резонатор, RTC, термокомпенсированный кварцевый генератор, цифровой датчик температуры и автоматический переключатель питания для поддержки устройств с питанием от батарей.

- И наконец, корпуса с меньшими размерами дешевле.

Очевидным преимуществом MEMS-часов реального времени является устойчивость их рабочих характеристик к воздействию окружающей среды и других факторов.

При операциях пайки оплавлением (трехкратное повышение температуры до 260°C), которые воспроизводят условия монтажа пользователем, MEMS-устройства демонстрируют уход частоты менее ± 1 ppm. У продукции на базе кварцевого резонатора при таком же температурном режиме пайки уход частоты составляет ± 5 ppm.

MEMS-часы реального времени прошли квалификационные испытания на удары и вибрации в соответствии

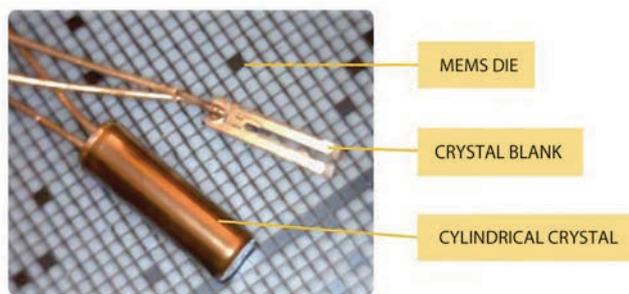


Рис. 2. MEMS-резонатор занимает в 47 раз меньшую площадь и в 182 раза меньший объем, чем цилиндрический кварцевый резонатор

MEMS DIE — кристалл MEMS; CRYSTAL BLANK — кварцевая пластина; CYLINDRICAL CRYSTAL — цилиндрический кварцевый резонатор

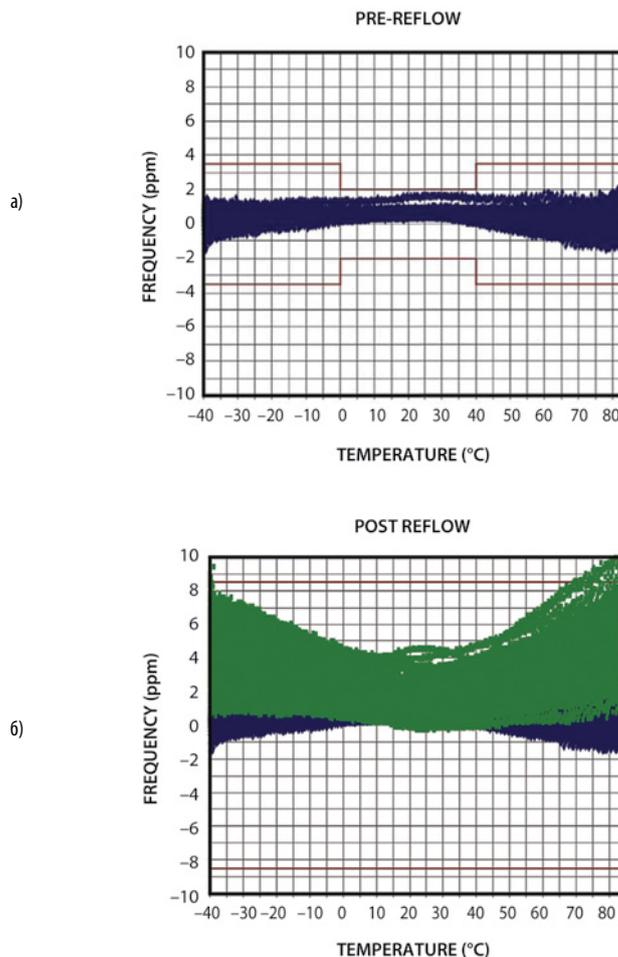


Рис. 3. Данные для часов реального времени на базе кварцевого резонатора до пайки оплавлением (3а, вверху) и после нее (3б, внизу). После пайки оплавлением наблюдается уход частоты ± 5 ppm
TEMPERATURE (°C) — температура (°C); POST REFLOW — после пайки оплавлением; PRE-REFLOW — до пайки оплавлением; FREQUENCY (ppm) — погрешность частоты (ppm)

с требованиями стандарта AEC-Q100. Они способны выдержать механические удары, превышающие 2900g (x5) (JESD22-B104-C Condition-H) и вибрации с переменной частотой, превышающие 20g (JESD22-B103B Condition-1).

Данные о рабочих характеристиках и их изменении в процессе производства доказывают, что MEMS-часы реального времени превосходят традиционные кварцевые RTC. К тому же, уход частоты с течением времени (на протяжении срока службы) при использовании MEMS-часов не превышает ± 5 ppm. Погрешность частоты

при изменении температуры и после пайки оплавлением по-прежнему не выходит за рамки ± 5 ppm.

MEMS-резонаторы работают при более высоких температурах. Они устанавливаются в более компактные корпуса, и стоимость их меньше. Очень сложно найти аргумент против использования точных RTC-приборов на базе технологии MEMS при разработке схем.

Получить дополнительную информацию можно у авторизованных дистрибьюторов компании Maxim Integrated в РФ (www.maximintegrated.com/distributors).



На 60% выше ток в корпусе того же типа

Наименование	Напряжение пробоя, В	Сопротивление откр. канала, мОм	Ток стока (25°С), А	Заряд затвора, нКл	Корпус
IRFS3004-7PPBF	40	1.25	240*	160	D ² PAK-7
IRFP4004PBF	40	1.7	195*	220	TO-247AC
IRFB3004PBF	40	1.75	195*	160	TO-220
IRFS3004PBF	40	1.75	195*	160	D ² PAK
IRFS3006-7PPBF	60	2.1	240*	200	D ² PAK-7
IRFB3006PBF	60	2.5	195*	200	TO-220
IRFS3006PBF	60	2.5	195*	200	D ² PAK
IRFS3107-7PPBF	75	1.85	195*	380	TO-247AC
IRFS3107PBF	75	2.6	240*	160	D ² PAK-7
IRFP4368PBF	75	3.0	195*	160	D ² PAK
IRFB4115PBF	100	2.6	195*	360	TO-247AC
IRFS4010-7PPBF	100	4.0	190	150	D ² PAK-7
IRFS4010PBF	100	4.7	180	143	D ² PAK
IRFS4127PBF	150	5.9	171	151	TO-247AC
IRFS4115-7PPBF	150	11	104	77	TO-220
IRFB4127PBF	150	11.8	105	73	D ² PAK-7
IRFS4115PBF	150	12.1	99	77	D ² PAK
IRFP4668PBF	200	9.7	130	161	TO-247AC
IRFP4568PBF	200	20	76	100	TO-220
IRFP4468PBF	200	22	72	100	D ² PAK
IRFP4768PBF	250	17	93	180	TO-247AC

Компания International Rectifier расширила номенклатуру высококачественных силовых MOSFET новой серией HEXFET Trench MOSFET на напряжение сток-исток от 40 до 250 В, наиболее востребованное на рынке. Новые транзисторы в модернизированных корпусах обеспечивают токи стока до 240 А, что на 60% выше, чем у типовых стандартных корпусов. Помимо этого новые транзисторы имеют лучшее в отрасли ультранизкое $R_{ds(on)}$ и предлагаются в популярных корпусах TO-220, D²PAK, D²PAK-7, TO-247, TO-262.

Применение

- Управление промышленными аккумуляторами
- Мощные источники питания
- Привод постоянного тока
- DC/AC преобразователи
- Мощный электроинструмент
- Мощные синхронные выпрямители
- Мощные активные O'Ring узлы

Особенности

- Индустриальное исполнение
- Уровень 1 чувствительности к влажности
- Бесвинцовое исполнение
- RoHS совместимые

* Ограничение корпуса.

Документация на сайте www.irf.ru



www.platan.ru

International
IOR Rectifier

THE POWER MANAGEMENT LEADER

Tel: +49 (0) 6102 884 311
www.irf.com

Офисы в Москве: м. Молодежная: Москва, ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97-000-99, e-mail: platan@aha.ru,
м. Новослободская: Москва, 1-й Щемилковский пер., 16, стр. 2, (495) 744-70-70, platan@platan.ru
Офис в Санкт-Петербурге: ул.Зверинская, 44, (812) 232-88-36, 232-23-73, baltika@platan.spb.ru

ЭФФЕКТИВНАЯ И ЭКОНОМИЧНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

СУАД ЮСУФ (SUAD JUSUF), инженер технической поддержки, Renesas Electronics Europe

В статье описаны особенности 16-разрядных микроконтроллеров семейства RL78 от Renesas, на базе которых можно создать эффективную и гибкую систему управления электродвигателями, отвечающую всем требованиям стандартов по безопасности. Статья представляет собой перевод [1].

В настоящее время возможности разработчиков по снижению стоимости конечной системы ограничены из-за того, что они вынуждены следовать во многом надуманному сценарию использования в своих проектах 32-разрядных микроконтроллеров (МК). Однако 16-разрядные микроконтроллеры все же могут в определенных случаях применяться вместо 32-разрядных МК, обеспечивая при этом более экономичное решение.

Бесщеточные электродвигатели постоянного тока (brushless DC motors, BLDC) или электродвигатели переменного тока с постоянным магнитом (permanent magnet AC motor, PMAС) находят все более широкое применение в современных системах управления электроприводами. Это объясняется, главным образом, функциональными особенностями таких электродвигателей, их свойством эффективно генерировать крутящий момент и скорость вращения, а также длительным сроком службы.

Кроме типовых пусковых характеристик этих двигателей разработчики также должны учитывать растущую

сложность систем и высокие требования к качественным показателям приложений. При проектировании системы необходимо обеспечить более высокий уровень безопасности и надежности в сочетании с более гибкими функциями создаваемого приложения, что ограничивает набор возможных решений.

Критерием выбора того или иного решения в таких случаях является оптимизированный по затратам проект. Такие системы требуют применения микроконтроллеров, обеспечивающих гибкость проектирования системы. При выборе подходящего МК важную роль играет снижение стоимости за счет исключения внешних компонентов.

Компания Renesas Electronics предлагает семейство 16-разрядных микроконтроллеров серии RL78, удовлетворяющих требованиям различных приложений. Архитектура базового семейства RL78 представляет собой комбинацию архитектур семейств 78K0R и R8C, обеспечивая производительность на уровне 1,27 DMIPS/МГц. На максимальной рабочей частоте 32 МГц ток потребления этих

микроконтроллеров составляет всего 70 мкА/МГц. Минимальное время выполнения команды изменяется в пределах от 0,03125 мкс (рабочая частота — 32 МГц) при использовании высокоскоростного встроенного тактового генератора до 30,5 мкс (рабочая частота — 32,768 кГц) при использовании системного тактового сигнала. Число команд в наборе составляет 87, из которых 56% могут выполняться за один тактовый цикл. На рисунке 1 представлено распределение числа тактовых циклов, требующихся для выполнения команд МК семейства RL78.

Гарвардская CISC-архитектура микроконтроллеров семейства RL78 имеет 3-каскадный конвейер, четыре блока регистров, каждый из которых содержит 8×8-разрядных регистров, и 16-разрядное многорегистровое устройство циклического сдвига. Эти микроконтроллеры оснащены такими DSP-функциями как 16×16-разрядный умножитель со знаком и без знака с 32-разрядным делением, а также умножение с накоплением (MAC). Это весьма полезные функции для выполнения сложных алгоритмов и операций, требующих большого объема вычислений. Команда MAC способна выполнять 16×16-разрядное умножение и 32-разрядное сложение за два тактовых цикла и идеально подходит для расчета фильтров.

Кроме того, снижение нагрузки на центральный процессор обеспечивают различные гибкие периферийные устройства, например контроллер передачи данных (Data Transfer Controller, DTC) и контроллер связи событий (Event Link Controller, ELC). Эти периферийные устройства позволяют создать цепь на аппаратном уровне, которая реагирует на внешние события в режиме реального времени, исключая необходимость в реализации обычной обработки прерываний в центральном процессоре. Функциональная блок-схема семейства RL78 приведена

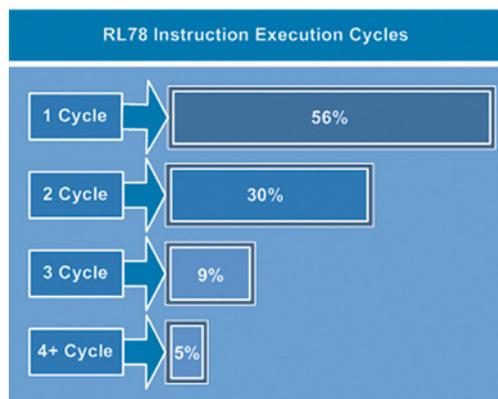


Рис. 1. Распределение числа тактовых циклов, которые требуются для выполнения команд микроконтроллеров RL78

RL78 Instruction Execution Cycle — тактовые циклы исполнения команд микроконтроллера RL78; 1 Cycle — один тактовый цикл; 2 Cycle — два тактовых цикла; 3 Cycle — три тактовых цикла; 4+ Cycle — более четырех тактовых циклов

Renesas RL78 – True Low Power!



Renesas Electronics, поставщик микроконтроллеров №1 в мире*, предлагает семейство микроконтроллеров RL78 с предельно низким энергопотреблением – 66мкА/МГц на частоте 32 МГц. Широкий набор периферии и аппаратная реализация функций обеспечения безопасности позволяют в максимальной степени снизить общую стоимость системы.



Новое семейство RL78/G14 обеспечивает производительность 1,6 DMIPS/МГц и имеет улучшенную периферию для использования в широком спектре промышленных приложений, в том числе для управления двигателями.

Характеристики семейства RL78

- **Сверхнизкое энергопотребление**
 - Рабочее напряжение: 1,6 - 5,5В;
 - Режим Snooze: активны UART и АЦП при спящем ядре;
 - Режим ожидания:
0,57мкА @ RTC+LVD;
- **Наилучшее качество и надежность**
 - Аппаратно соответствует стандарту безопасности IEC60730;
 - Высокая степень ЭМС;
 - Работа при высоких температурах (105/125 °С);
- **Низкие системные издержки за счет встроенной периферии**
 - Встроенная DataFlash;
 - Встроенный генератор до 64 МГц с точностью +/-1%;
 - АЦП, ЦАП, компараторы и датчик температуры;
- **Высокая производительность**
 - До 32 МГц, 1,6 DMIPS/МГц;
 - Аппаратный модуль MAC.

Список дистрибьюторов



Arrow Electronics
www.arroweurope.com
Тел.: +7 495 626-5597
Факс: +7 495 626-5598



Элтех
www.eltech.spb.ru
Тел.: +7 812 327-9090
Факс: +7 812 635-5070



PT Electronics
ptelectronics.ru
Тел.: +7 812 324-6350
Факс: +7 812 324-6611



Silica
www.silica.com
Тел.: +7 495 737-3670
Факс: +7 495 737-3671

RL78 для Вас!

Зарегистрируйтесь прямо сейчас на странице www.renesas.eu/rl78 и закажите промо комплект RL78/G14 **

- Предназначен для оценки рабочих характеристик и отладки
- Включает интегрированную среду разработки E2Studio и генератор шаблонов кода Applet

** Количество демо-плат ограничено.



www.renesas.eu/rl78

* По результатам исследования агентства IHS iSupply за 2011 год

RENESAS

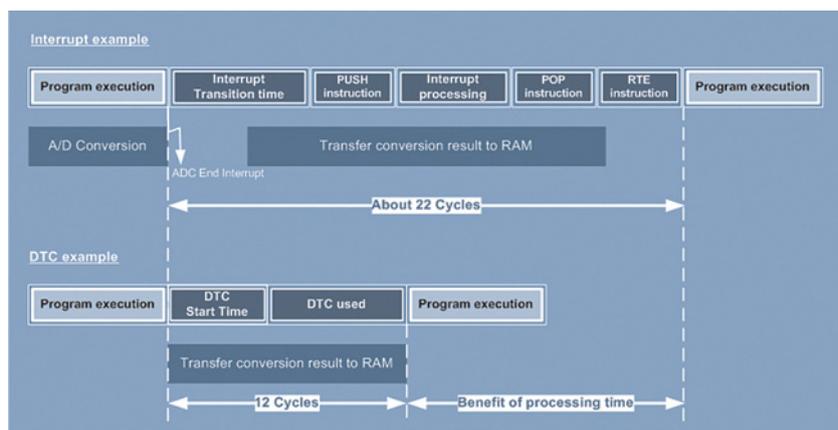


Рис. 2. Пример, демонстрирующий преимущества DTC-функции в сравнении с обычным процессом обработки событий на базе прерываний

Interrupt example — пример с использованием прерывания; **Program execution** — исполнение программы; **Interrupt Transition time** — время установления прерывания; **PUSH instruction** — команда PUSH; **Interrupt processing** — обработка прерывания; **POP instruction** — команда POP; **RTE instruction** — команда RTE; **Program execution** — исполнение программы; **A/D Conversion** — аналого-цифровое преобразование; **ADC End Interrupt** — прерывание по окончании аналого-цифрового преобразования; **Transfer conversion result to RAM** — передача результата преобразования в ОЗУ; **About 22 Cycles** — около 22 тактовых циклов; **DTC example** — пример использования DTC-контроллера; **Program execution** — исполнение программы; **DTC start time** — время запуска DTC-функции; **DTC used** — использование DTC; **Program execution** — исполнение программы; **Transfer conversion result to RAM** — передача результата преобразования в ОЗУ; **12 Cycles** — 12 тактовых циклов; **Benefit of processing time** — преимущество по времени обработки

в руководстве пользователя микроконтроллеров группы G14 [2].

Операция записи во флэш-память данных микроконтроллера может работать в фоновом режиме параллельно с прикладным ПО из основной флэш-памяти, исполняемым центральным процессором. Таким образом, флэш-память данных удобно использовать для хранения важных системных параметров в качестве альтернативы E2PROM. Встроенный высокоскоростной тактовый генератор обеспечивает широкий спектр тактовых частот, начиная с 64, 32 и 24 МГц вплоть до 1 МГц, и имеет точность $\pm 1\%$ в полном диапазоне температур и напряжений питания. Следует заметить, однако, что максимальная тактовая частота 64 МГц доступна только для 16-рядного таймера RD.

РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ ЗАЩИТЫ

Центральный процессор и остальная периферия работают в высокоскоростном режиме с максимальной частотой тактового сигнала 32 МГц. Кроме того, семейство RL78 обеспечивает некоторые специальные аппаратные функции защиты. Эти функции идеально соответствуют требованиям стандартов безопасности IEC60730 и позволяют снизить нагрузку на центральный процессор. Те функции защиты, которые нельзя реализовать программным способом, например защиту от записи в RAM/SFR, осуществляются с помощью встроенных в кристалл аппаратных блоков.

Для управления бесщеточными электродвигателями постоянного тока или электродвигателями переменного

тока с постоянным магнитом в структуре микроконтроллеров семейства G14 предусмотрена соответствующая периферия: например, трехфазный таймер RD, АЦП и такие периферийные устройства как DTC- и ELC-модули.

В МК серии G14 используется 10-разрядный АЦП с минимальным временем преобразования 2,1 мкс. Процесс преобразования может быть запущен не только программно, но и с помощью других встроенных периферийных устройств. Одним из возможных источников сигнала запуска является модуль таймера, который используется в комбинации с ELC-модулем. Диапазон напряжений аналого-цифрового преобразования находится в интервале 1,6–5,5 В. Этот модуль имеет встроенный источник опорного напряжения 1,44 В, который используется либо в качестве опорного, либо в качестве входного напряжения. Кроме того, этот модуль оснащен встроенным датчиком температуры, который передает ее значения в один из регистров результатов аналого-цифрового преобразования.

DTC-модуль (Data Transfer Controller) представляет собой векторный контроллер ПДП (DMA), который обеспечивает гибкую схему пересылки данных без взаимодействия с центральным процессором (ЦП). Для этого доступно 24 вектора, таблица которых создается в области управления DTC-модуля. Выбранный режим передачи для соответствующего вектора, а также адрес источника и адрес назначения также хранятся в области управления DTC-модуля за таблицей векторов. Эта область управления отображается в ОЗУ и определяется регистром

DTCBAR. Передача данных запускается по прерыванию, сгенерированному одним из периферийных устройств. В общей сложности, для активации DTC-передачи имеется 31 источник с программируемыми приоритетами. Максимальный объем данных, который можно передать в режиме 16-бит, составляет 512 байт. DTC-модуль поддерживает два режима передачи: нормальный и с повторением. В нормальном режиме DTC-модуль останавливается после каждой одиночной передачи соответствующих данных. В отличие от этого, в режиме с повторением данные передаются непрерывно, адреса источника или назначения инициализируются автоматически, и данные в регистрах перегружаются. В этом случае объем данных для передачи можно запрограммировать в регистре счета DTC-передачи. DTC-модуль сигнализирует об окончании передачи данных путем генерации прерывания. В нормальном режиме прерывание генерируется после каждой передачи данных, в режиме с повторением — только после полной передачи запрограммированного объема данных.

Важной особенностью DTC-модуля является возможность построения настраиваемых цепочек передачи данных, когда после выполнения пересылки по одному вектору автоматически запускается пересылка по следующему запрограммированному вектору.

DTC-модуль работает также в дежурных режимах HALT или SNOOZE, что обеспечивает передачу данных даже в режиме экономии энергии и может использоваться для пробуждения центрального процессора. На рисунке 2 показан пример передачи данных из АЦП в ОЗУ. Он демонстрирует преимущества DTC-функции по сравнению с обычным процессом передачи данных с использованием прерывания.

УПРАВЛЕНИЕ КАНАЛАМИ СОБЫТИЙ

ELC-модуль разрешает программируемые соединения (каналы) между выходными событиями от каждой периферийной функции. Структурная схема ELC-модуля показана на рисунке 3.

Такие связи внутренней периферии (каналы) обеспечивают непосредственную координацию работы периферийных устройств без взаимодействия с центральным процессором. Это существенно снижает нагрузку на центральный процессор, связанную с обработкой прерываний, и позволяет оптимизировать объем программного обеспечения. Снижение нагрузки на центральный процессор, связанной с обработкой прерываний (см. рис. 4), а также непосредственное управление через порты ввода/вывода улучшает работу системы в режиме реального

времени. В зависимости от выбранного типа микроконтроллера группы G14 модуль ELC обеспечивает связь между периферийными устройствами от 20 (для устройств в 30- и 64-выводных корпусах) до 26 типов (для устройств в 80- и 100-выводных корпусах) сигналов событий.

Модуль RD-таймера содержит два 16-разрядных таймера, таймеры RD0 и RD1 с четырьмя каналами ввода/вывода каждый. Кроме функций захвата входа или сравнения выхода, этот модуль обеспечивает три выбираемых ШИМ-режима: ШИМ-режим с синхронным сбросом (Reset Synchronous PWM), дополняющий ШИМ-режим (Complementary PWM) и ШИМ3 (PWM3).

Во втором режиме выводятся шесть отцентрированных и сдвинутых по фазе весовых треугольных сигнала, автоматически загружаемых с предварительно заданным временем задержки. Такие дополняющие 3-фазные ШИМ-сигналы показаны на рисунке 5.

Модуль RD-таймера оснащен механизмом останова, который деактивирует и переключает выходы модуля в состояние высокого импеданса, что позволяет отключать систему при перегрузке по току. Кроме того, имеется возможность управлять этим механизмом защиты с помощью ELC-модуля. Таким образом, отключение выходов можно также выполнять с помощью других событий. Примером этого служит использование компаратора. Он имеет два канала и совместно с т.н. window-функцией используется для мониторинга системы питания, обеспечивая защиту модуля питания системы (инвертора) от превышения тока и падения напряжения.

Комбинируя описанные выше модули, можно создать автономный механизм для автоматического управления процессом на аппаратном уровне. Для такой координирующей задачи центральный процессор не используется, и он, таким образом, высвобождается для выполнения других функций. Освободившееся рабочее время ЦП можно использовать для математической обработки вычислений или установления коммуникаций. Пример одной из возможных комбинаций этих модулей показан на рисунке 6.

RD-таймер генерирует необходимые 3-фазные ШИМ-сигналы для управления электродвигателями типа BLDC или PMSM. Передача системных параметров происходит аппаратно в автоматическом режиме, что улучшает обработку данных в режиме реального времени, оптимизирует системное управление и скорость реакции системы. Автоматизация процесса передачи данных обеспечивается с помощью периферийных аппаратных каналов с

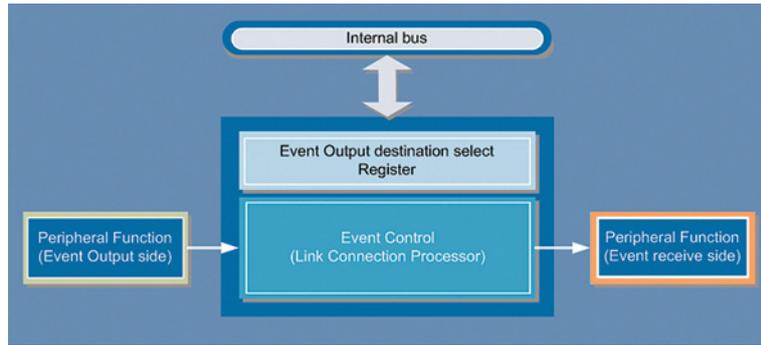


Рис. 3. Структурная схема ELC-модуля

Internal bus — внутренняя шина; **Event Output destination select Register** — регистр для выбора адреса выхода события; **Peripheral Function (Event Output side)** — периферийная функция (со стороны выхода события); **Event Control (Link Connection Processor)** — управление событиями (процессор канала передачи данных); **Peripheral Function (Event receive side)** — периферийная функция (со стороны приема события)

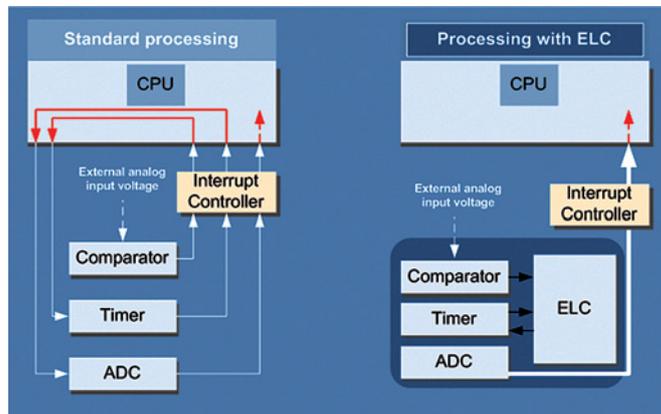


Рис. 4. Сравнение стандартного процесса обработки и обработки с помощью ELC-модуля

Standard processing — обычный процесс обработки; **CPU** — центральный процессор; **External analog input voltage** — внешнее аналоговое входное напряжение; **Interrupt Controller** — контроллер прерываний; **Comparator** — компаратор; **Timer** — таймер; **ADC** — АЦП; **Processing with ELC** — обработка с ELC-модулем; **ELC** — ELC-модуль

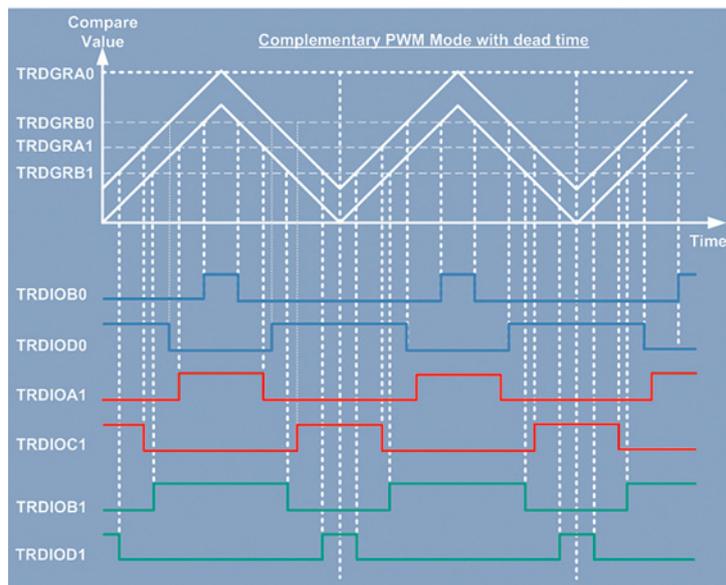


Рис. 5. Дополняющий ШИМ-режим со временем задержки

Compare Value — сравниваемая величина; **Complementary PWM Mode with Dead Time** — дополняющий ШИМ-режим со временем задержки; **Time** — время

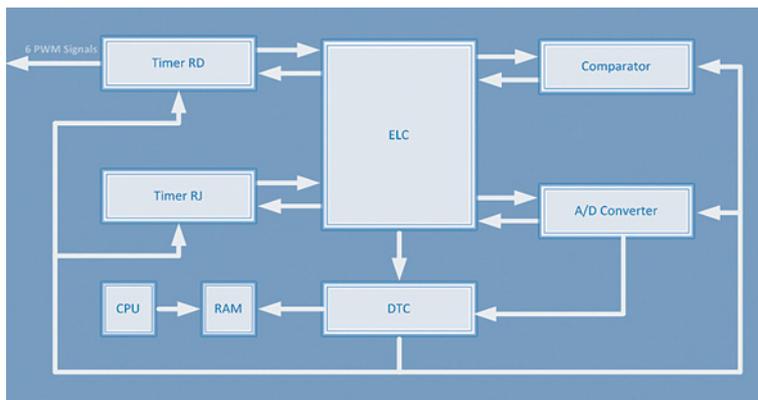


Рис. 6. Возможные комбинации модулей и их автоматические каналы соединения

6 PWM Signals — шесть ШИМ-сигналов; Timer RD — таймер RD; Timer RJ — таймер RJ; ELC — ELC-модуль; CPU — центральный процессор; RAM — ОЗУ; DTC — DTC-модуль; Comparator — компаратор; A/D Converter — АЦП

помощью ELC- и DTC-модулей. Запуск RD-таймера вызывает также запуск таймера RJ ELC-модулем в интервальном режиме, что, в свою очередь, генерирует запускающие сигналы с программируемым временем для АЦП. После этого сбор данных о величине тока, противо-ЭДС и измеренного напряжения с помощью ШИМ можно синхронизировать в пределах одного тактового цикла.

Шум практически не влияет на результаты измерения сигналов, благодаря чему можно уменьшить или полностью исключить внешние и программные фильтры. Таким образом, центральный процессор можно освободить от нагрузки по сбору внешних данных, передаче и обработке событий, задействовав его ресурсы для расчета управляющих воздействий и анализа доступных данных. Работу такой

эффективной и экономичной системы наглядно показывает демонстрационный набор, который обеспечивает алгоритмы векторного управления (Field Oriented Control, FOC) для бездатчикового синхронного электродвигателя с постоянным магнитом с тремя или одним шунтом. Разработчикам предлагается библиотека ПО с открытым исходным кодом со всеми необходимыми функциями управления. Помимо полной документации и данных о топологии печатной платы предлагается GUI-интерфейс. Разработчик может самостоятельно запрограммировать все необходимые системные параметры для оценки и оптимизации приложения. Это не только обеспечивает успешный запуск специализированного электродвигателя в приложении заказчика, но и гарантирует быстрый процесс разработки с оптимальной стоимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Suad Jusuf. *Efficient & economical control//Electronic Specifier Design. February 2013.*
2. *Руководство пользователя микроконтроллеров семейства RL78/G14//www.arrowna.com.*

СОБЫТИЯ РЫНКА

Продолжение. Начало см. на с. 50

| ОЧЕРЕДНАЯ СМЕНА СТРАТЕГИИ РУКОВОДСТВА INTEL? | Все великие (без преувеличения) предшественники Пола Отеллини на посту главы Intel были «технарями» — физиками, инженерами и разработчиками. На их могучих плечах корпорация добилась того, что стала продавать свои микропроцессоры с огромной нормой прибыли (чего не могли себе позволить конкуренты).

После ухода Крейга Барретта с поста главы Intel за лидерство в компании боролись два основных лобби — «технарей» и финансистов. Первые (идеологические наследники Барретта) были представлены Пэтриком Гелсингером и Майком Фистером. Вторые выдвигали Пола Отеллини, не имевшего технического образования. Совет директоров посчитал, что именно финансист Отеллини поможет вернуть корпорации долю рынка микропроцессоров.

В то время в израильском подразделении Intel разработали очень удачную архитектуру процессоров Pentium M. Эти процессоры обходили аналоги от AMD и по производительности, и по энергопотреблению. А дополнив процессор с чипсетом модулем беспроводной связи Wi-Fi, корпорация выпустила революционную платформу для ноутбуков — Centrino. Вложив в ее раскрутку просто гигантские суммы, Intel смогла монополизировать быстро растущий рынок ноутбуков на долгие годы вперед. Уже при Отеллини были выпущены двухъядерные и десктопные процессоры линейки Core, которые вернули Intel бесспорное технологическое лидерство и в сегменте настольных ПК. Именно при Отеллини Intel вновь стала безусловным технологическим и финансовым лидером среди полупроводниковых компаний.

Однако в 2008–2009 гг. глобальный финансовый кризис пошатнул индустрию ПК и полупроводников. Кроме того, Apple выпустила революционные изделия iPhone и iPad, придав смартфонам и планшетами именно те качества, которые сделали их хитами продаж за очень короткое время. Intel не спешила «запрыгнуть на этот паровоз», возлагая надежды сначала на рынок нетбуков (с процессорами Intel Atom), а затем — ультрабуков (с процессорами Intel Core iX).

На раскрутку класса нетбуков Intel потратила едва ли не больше денег, чем в свое время на Centrino. Корпорация обещала потребителям нетбуки по 100–200 долл., но в итоге они продавались по 400–800 долл. Нетбуки за год с нуля захватили около 10% рынка ноутбуков, но к настоящему времени этот класс устройств доживает последние дни, а Intel пытается активно переориентировать процессоры Atom на планшеты и смартфоны.

Почему этого не было сделано ранее? Во-первых, руководство Intel решило, что важнее уделять внимание ноутбукам, поддерживать лидерство в сегменте настольных ПК, а также развивать беспроводные коммуникации. Во-вторых, процессоры Atom оказались технически неконкурентоспособными по сравнению с ARM-решениями в планшетах и смартфонах по энергопотреблению и тепловыделению. Теперь Intel пытается наверстать упущенное, в частности, выпустив новую платформу Silvermont на базе СНК Atom.

Окончание см. на с. 94

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССОРНЫЕ ЯДРА SYNOPSYS ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

СКОТТ ГАРДНЕР (SCOTT GARDNER), старший аналитик, Linley Group

Статья знакомит с процессорным семейством ARC EM компании Synopsys — новыми лицензируемыми процессорными ядрами для встраиваемых применений, в числе выигранных особенностей которых — производительность 32-разрядного RISC, малая площадь кремния и минимальное потребление энергии. Согласно тестам производителя на EEMBC, SPEC и других бенчмарках, новейшие процессоры ARC EM характеризуются превосходной компактностью программного кода и высокой производительностью при меньших потребностях в мощности и площади кристалла. Статья подготовлена по результатам оценки производительности и технических характеристик недавно разработанных процессорных ядер EM4 и EM6.

Компания Synopsys известна как ведущая в области автоматизации разработки электроники, она предлагает свою библиотеку средств разработки (фирменный термин DesignWare) лицензируемой интеллектуальной собственности IP (Intellectual Property), в т.ч. интерфейсы, аналоговые компоненты, встроенную память и библиотеки элементов. Хотя для большинства разработчиков чипов не секрет, что DesignWare включает лицензируемые процессорные ядра и подсистемы, многие из них удивятся, узнав, что Synopsys является второй в мире компанией после ARM по числу чипов, использующих её процессорные ядра. В официальном докладе Linley Group оценила число чипов, поставленных в 2011 г. и содержащих процессоры Synopsys, в

993 млн, что более чем на 50% превосходит объёмы поставок с процессорами компаний MIPS и Tensilica. Многие чипы включают по несколько ядер ARC. Ожидается, что Synopsys удержит это положение на рынке, т.к. компания продолжает расширять свою пользовательскую базу.

Ожидается, что анонсированное в октябре 2011 г. семейство ARC EM будет составлять большую часть объёма выпуска процессоров от Synopsys. Благодаря производительности, размеру и потреблению энергии эти встраиваемые ядра хорошо подходят для массовых, бюджетных, требующих экономии мощности приложений, таких как карты памяти или сенсоры, а также для замены устаревших 8-разрядных процессоров. Их производительность

и способность к управлению в реальном времени — надёжное решение для контроллеров твердотельных дисков SSD (Solid State Discs). Теперь Synopsys дополнила ядра семейства ARC EM новыми свойствами, повышающими производительность процессора и компактность программного кода, а также рядом улучшений, предоставляющих разработчикам больше возможностей для подстройки архитектуры и повышения эффективности во встраиваемых приложениях.

ПРОЦЕССОРЫ ARC EM4 И ARC EM6

Семейство ARC EM базируется на 32-разрядной микроархитектуре RISC, показанной на рисунке 1, которая реализует набор инструкций ARCv2 эффективным трёхступенчатым конвейером с минимизацией энергопотребления и площади кремния. Потребляя только 0,4 мкВт/МГц и занимая чуть более 0,01 мм² при синтезе с оптимизацией мощности (процесс 40 нм LP, частота 100 МГц), ядро ARC EM4 оказывается самым компактным в линейке Synopsys. С тем же самым трёхступенчатым конвейером, но при синтезе с оптимизацией производительности (процесс 40 нм GP, частота 885 МГц) производительность можно увеличить почти на порядок при умеренной мощности 9,6 мкВт/МГц и относительно небольшой площади 0,04 мм².

Миниатюрный ARC EM4 предназначается для глубоко встроенных приложений, выполняющих типовые фиксированные функции. Например, SSD необходим глубоко встроенный процессор для управления блоками

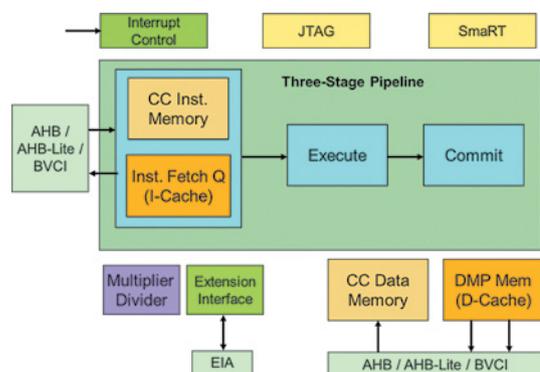


Рис. 1. Блок-схема процессорного ядра DesignWare ARC EM4

Interrupt control — управление прерываниями; Memory — память; Execute — выполнение; Commit — подтверждение; Three-stage pipeline — трёхступенчатый конвейер; Multiplier divider — делитель/умножитель; Extension interface — расширение интерфейса

данных и реализации таких типичных алгоритмов как обработка ошибок или выравнивание износа (wear leveling) секторов. Такие глубоко встроенные процессоры и микроконтроллеры должны быть принципиально 32-разрядными, работающими на скоростях существенно ниже максимально возможных, но при этом потребляющих настолько мало энергии и занимающих настолько малую площадь на кристалле, насколько это возможно. Типичные глубоко встроенные приложения редко могут воспользоваться преимуществами стандартных систем инструкций, таких как ARM или x86, поскольку в них обычно применяется не готовое поставляемое на рынок программное обеспечение (ПО), а специально разработанный для конкретного устройства небольшой по объёму программный код, который может быть скомпилирован в любой системе инструкций. Размер кода и энергетическая эффективность — наиболее важные параметры для таких приложений, и именно в них очевидны преимущества ARC EM4.

Процессорное ядро ARC EM6 использует ту же самую микроархитектуру с трёхступенчатым конвейером, что и ядро ARC EM4, и аналогичным образом может быть оснащено простым интерфейсом между процессором и памятью инструкций и данных, объём которых варьируется от 512 байт до мегабайта. Кроме того, ядро EM6 может иметь кэши инструкций и данных первого уровня. Помимо возможности независимого выбора их объёмов от 2 до 32 Кбайт, кэши позволяют конфигурировать длину линейки и степень ассоциативности для оптимизации частоты попаданий в них у конкретных приложений. Линейки кэшей могут блокироваться, чтобы гарантировать детерминистическую производительность задач в реальном времени. Оба ядра, EM4 и EM6, изначально поддерживают протоколы системных шин ANV и ANV-Lite, а также интерфейса виртуального канала BVCI (Basic Virtual Channel Interface).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЧЕРЕЗ КОНФИГУРИРУЕМОСТЬ И РАСШИРЯЕМОСТЬ

Процессорные ядра EM4 и EM6 сохранили в качестве наследства от своих предшественников конфигурируемость и расширяемость. В дополнение к конфигурируемости подсистемы памяти и интерфейсной шины системы на кристалле (СнК) разработчик может с помощью ARChitect CPU design tool сконфигурировать процессорное ядро так, чтобы оптимизировать его производительность в предполагаемой прикладной задаче. Предусмотрена также возможность выбора размера

регистрового файла, 16 или 32 регистра, и его реализация либо ячейками памяти, либо на отдельных триггерах. Регистровый файл может быть сконфигурирован вторым портом записи (в семействе EM предусмотрено два порта чтения). Всего же, с учётом регистров расширения ядра, в распоряжении разработчика имеется до 60 регистров.

В число других конфигурируемых параметров входят разрядность шины адреса, программный счётчик, таймеры, прерывания, аппаратные умножители и делители, счётчик циклов и, наконец, выбор порядка нумерации байтов (от старшего к младшему или от младшего к старшему). Эти параметры могут конфигурироваться или вовсе исключаться для достижения эффективного выполнения задач встроенного программного обеспечения (ПО) при наименьшем числе транзисторов. Кроме того, семейство ARC EM реализует расширения системы инструкций. Разработчик может добавить блок плавающей запятой ARC FPX, соответствующий стандарту IEEE-754 и поддерживающий одинарную и двойную точность представления чисел. С блоком ARC FPX процессоры семейства ARC EM способны обеспечить удельную производительность на операциях с плавающей запятой порядка одного мегафлопа на мегагерц.

В набор инструкций ARC EM можно добавлять новые пользовательские инструкции, которые будут декодироваться и выполняться в целом так же, как инструкции плавающей запятой. Инструкции, добавленные посредством ARChitect, становятся частью среды разработки, включающей симулятор инструкций nSIM с усреднённой производительностью 475 Мвыб/с в режиме turbo, а также симулятор циклов процессора xCAM с рабочей частотой 40–60 кГц. Разработчик ПО Synopsys обеспечивает оптимизированной версией своего комплекта средств разработки ARC MetaWare Development.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕМЕЙСТВА ARC EM

Улучшения, внесённые в процессоры EM4 и EM6, направлены на уплотнение программных кодов, повышение производительности и уменьшение потребляемой энергии при расширении функциональных возможностей во встраиваемых приложениях. Компактность кода рассматривается как критический параметр для глубоко встраиваемых применений вследствие объективной необходимости минимизировать объём встроенной памяти программ. Synopsys повысил плотность программного кода по сравнению с предыдущими поколениями

процессоров ARC EM в среднем на 8%, главным образом за счёт добавления 16-разрядных инструкций для наиболее часто используемых операций. Помимо сокращения площади кремния для собственно памяти программ и потребляемой ею мощности 16-разрядные инструкции обеспечивают дополнительную экономию энергии за счёт уменьшения числа обращений к этой памяти. Дальнейшее уплотнение кода достигается использованием метода сжатия данных на основе словарей для часто встречающихся в программе 32-разрядных инструкций. В совокупности всё это обеспечивает существенное сокращение длины программного кода во многих бенчмарках. В частности, для теста cacheb01 консорциума EEMBC (Embedded Microprocessor Benchmark Consortium) — алгоритма работы с кэшами, активно использующего указатели данных и функций — сокращение программного кода превысило 22%.

Комплекс новых возможностей повышает производительность процессоров ARC EM, но конечный эффект будет зависеть от архитектуры системы и ПО. В предыдущей версии ARC EM использовался побитно последовательный метод аппаратного выполнения операции деления, требующий 34 цикла для получения 32-разрядного частного, а новая версия добавила алгоритм деления по основанию 4 с предварительными сдвигами операндов. Новое аппаратное устройство деления может генерировать два разряда результата за машинный цикл при той же рабочей частоте, что сокращает время деления наполовину. Теперь семейство ARC EM поддерживает доступ к тесно связанной памяти за два цикла, что позволяет процессору работать быстрее при более медленной памяти, более дешёвой оперативной или принципиально медленной постоянной. Разработчик получает возможность разделить весь массив памяти на два банка для эффективной раздельной работы с блоками быстрой и медленной памяти. Такое разделение прозрачно для ПО и не требует каких-либо новых инструментов. Процессоры ARC EM скрадывают большинство задержек памяти благодаря предварительной выборке инструкций в конфигурируемый буфер.

Для семейства ARC EM Synopsys создал новую архитектуру прерываний с увеличением их числа до 240 и поддержкой до 16 уровней приоритета. Приоритет прерываний программируется, а таблица векторов обеспечивает быстрый переход к обработчику прерывания. В целях ускорения переключения контекстов добавлено автоматическое аппаратное сохранение и

восстановление состояния регистров для пространства стека либо в режиме kernel, либо в режиме user. Для ещё более быстрого переключения контекста в новом семействе EM добавлена возможность переключения многочисленных банков регистров, исключая обращения к стеку. Новая архитектура прерываний поддерживается несколькими специальными инструкциями.

Проще и разнообразнее стали разделение и защита памяти. В семействе ARC EM добавилось средство защиты программного кода с новым брендом, которое предотвращает чтение из защищённой памяти программ какой-либо информации как отладчиком, так и самими программами. Инструкции из защищённой памяти могут исполняться, но они не могут быть считаны оттуда при аппаратной блокировке этой памяти внешним сигналом. Такая особенность позволяет защищать как IP компании-разработчика при свободном использовании чужих программных продуктов, так и, наоборот, защищённую лицензируемую IP стороннего поставщика программного продукта. Программисту достаточно лишь соответствующим образом промаркировать любую нужную (из 16 подразделений) память равного объёма.

В ARC EM имеется опциональная возможность встраивать блок полной защиты памяти MPU (Memory-Protection Unit), соответствующий специфика-

ции ARC 600, которая предоставляет программируемое разрешение чтения, записи и исполнения в 16 областях памяти для обоих режимов, kernel и user. Встроенная в ARC EM версия может немного отличаться от внешнего MPU ARC600, например, уменьшением размера защищаемой области памяти до 2 Кбайт. Кроме того, в ней имеется опциональный механизм контроля стека, схожий с аналогичным механизмом в спецификации ARC 700 и предотвращающий доступ к неопределённым областям памяти за указателем стека.

Хотя семейство ARC EM и ранее поддерживало детерминистическую обработку в реальном времени, новая версия предусматривает дополнительный опциональный 64-разрядный таймер реального времени RTC (Real-Time Clock) как часть процессорного ядра. Будучи задействован, RTC работает самостоятельно под контролем нескольких новых инструкций ARC EM. В отличие от RTC, соответствующего спецификации ARC 700, он проще в реализации, т.к. не нуждается в специальном регистре и подключении к нему путей данных СнК.

УМЕНЬШЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Synopsys реструктурировал иерархию модулей процессорного ядра и подсистемы памяти, чтобы увеличить

число архитектурно контролируемых синхросигналов (clocks). Уже самые первые процессоры ARC EM обеспечивали аппаратно управляемый режим останова (halt) и программно управляемый режим засыпания (sleep). Новые версии предоставляют больше возможностей для управления механизмами, возвращающими процессор и память в работу из состояний сна и останова восстановлением синхронизации. В режиме сна, если процессор не остановлен, синхронизация вновь включается по сигналу пробуждения от блока прерываний. В системах с прямым интерфейсом памяти DMI (Direct Memory Interface), синхронизация может быть возобновлена транзакцией DMI. Синхросигналы также активизируются на время выполнения операций отладки с использованием порта JTAG.

Множество режимов потребления мощности в новых процессорах ARC EM поддерживается восемью определяемыми пользователем состояниями, которые задаются операндом инструкции sleep. Разработчик имеет полный контроль над новыми режимами засыпания и может варьировать состояния «более глубокого сна» кодированием трёх разрядов инструкции sleep. Например, некоторые состояния сна могут уменьшать потребление энергии выключением питания каких-то логических схем или блоков памяти. Тем самым предоставляется выбор в определении блоков, которые в том или ином конкретном состоянии сна остаются активными или полностью выключаются. Использование дополнительных состояний засыпания даёт разработчику СнК полный программный контроль над системой распределения энергии с возможностью оптимизации в каждой отдельной разработке встроенного приложения.

СРАВНЕНИЕ ARC EM С ДРУГИМИ ПРОЦЕССОРАМИ

В таблице 1 представлено подробное сравнение характеристик процессоров ARC EM и новейших процессорных ядер Cortex-M компании ARM. Хотя ARM доминирует на рынке, другие поставщики также предлагают лицензируемые процессорные ядра для глубоко встроенных применений. Семейства MicroAptiv компании MIPS и Diamond компании Tensilica тоже включают бюджетные (low-end) конфигурации, но те нацелены на применения, требующие большей производительности, поэтому используют пятиступенчатый конвейер с большими площадью кремния и потреблением мощности. Например, ядра MicroAptiv обеспечивают чуть более 3,0 CoreMark/МГц, но занимают 0,33 мм² и потребля-

Таблица 1. Сравнение процессоров DesignWare ARC EM и ARM

	Synopsys ARC EM4	Synopsys ARC EM6	ARM Cortex-M0+	ARM Cortex-M4
Архитектура CPU	ARCV2	ARCV2	ARMv6-M	ARMv7E-M
Число ступеней конвейера	3	3	2	3
Скорость (CoreMark/МГц)	2,29	2,29	1,77	2,19
Скорость (Dhrystone MIPS/МГц)	1,52	1,52	0,93	1,25
Максимальная частота (МГц) ¹	390	420	200 (4)	250 ⁴
Минимальная площадь (мм ²) ²	0,04	0,05	0,04	0,17
Мощность (µВт/МГц) ²	8,4	9,4	11,2	33
Длина кода CoreMark (байт) ³	3,798	3,798	4,896	4,766
Тесно связанная память (байт)	До 1 М (I/D)	До 1 М (I/D)	Нет	Нет
Размер кэша L1 I/D (байт)	Нет	До 32 К	Нет	Нет
Блок плавающей запятой	SP/DP	SP/DP	Нет	Только SP
Количество областей MPU	1, 2, 4, 8, 16	1, 2, 4, 8, 16	8	8
Количество прерываний	240	240	32	240
Число состояний sleep	8	8	2	2
Интерфейс SoC	AHB, AHB-Lite, BVCI	AHB, AHB-Lite, BVCI	AHB-Lite	AHB-Lite
Дополнительные свойства	Защита кода, контроль стека, аппаратное переключение контекстов, ISA	Защита кода, контроль стека, аппаратное переключение контекстов, ISA	Нет	32-разрядный SIMD DSP

Примечания:

¹ Синтезировано с оптимизацией скорости (TSMC 90 LP, seven-track library, 1,2 В, 25°C).

² Тот же процесс, но с оптимизацией площади и мощности. Включены ETM, MPU, FPU и debug. ARM включает DSP и один IRQ + NMI.

³ Размер кода по данным ARM с Compiler 4.1.0.894 (включает данные пулов литералов, но не включает UART/timer). Код ARC EM скомпилирован в MetaWare 8.9.

⁴ Оценка Linley Group.

ют в активном режиме 0,10 мВт/МГц. Аналогично и Tensilica ориентируется на требующие высокого быстродействия приложения и не предлагает процессоров в классе миниатюрных микроконтроллерных ядер.

Следует заметить, что многие свойства в таблице опциональны, а Synopsys и ARM предлагают по несколько разных конфигураций каждого процессора. В наименьшем ядре ARM Cortex-M0+ используется самый короткий двухступенчатый конвейер, а ядро Cortex-M4 характеризуется самой высокой производительностью в семействе Cortex-M и даже включает процессор обработки сигналов DSP (Digital Signal Processor) с соответствующими 32-разрядными инструкциями SIMD (Single Instruction/Multiple Data). Опубликованные данные тестов позволяют предположить, что процессоры компании Synopsys можно сконфигурировать так, что они достигнут более высоких показателей производительности и лучшей энергоэффективности по сравнению с ядрами Cortex-M. Наглядным примером при выборе решения для разработчиков SnK, требующих эффективности процессора, может служить оценка по CoreMark EEMBC. Согласно ей, процессор ARC EM4, требующий приблизительно той же площади кремния, что и миниатюрный Cortex-M0+, имеет производительность в CoreMark на 30% выше при меньшем потреблении энергии.

Если в Cortex-M0+ производительность принесена в жертву уменьшению ядра, то Cortex-M4 в настоящее время представляет собой самый быстрый процессор в семействе Cortex-M. Тем не менее, его быстродействие в Dhrystone/МГц более чем на 20% ниже быстродействия ARC EM. В оценке CoreMark/МГц Cortex-M4 сокращает разрыв до 5%, но в целом бенчмарки ставят оба ARC EM выше него по производительности при том, что по занимаемой площади и потребляемой мощности они соизмеримы с Cortex-M0+. Так, уже по первому впечатлению производительность, эффективность, размер и компактность кода делают семейство ARC EM на рынке встраиваемых процессоров более предпочтительным по сравнению с семейством Cortex-M.

Однако остался неучтённым ещё один аспект — чистая максимальная рабочая частота. Процессоры ARC EM способны работать при частотах, примерно вдвое превосходящих максимальную частоту Cortex-M0+ и на 60% выше предельной частоты Cortex-M4. Поскольку требования к быстродействию встроенных процессоров постоянно растут, более высокая планка предельной частоты обеспечит ARC EM более долгую жизнь в SnK и потенциально уменьшит время разработки ПО.

На бенчмарке CoreMark новейшие процессоры ARC EM показывают большую компактность кода в сравнении с процессорами Cortex-M. По данным ARM, программный код CoreMark для Cortex-M0+ занимает 4896 байт, что на 28% длиннее кода, генерируемого для ARC EM компилятором MetaWare. Правда, надо учитывать, что компилятор ARM включает в свои объектные файлы значительные объёмы данных, что ставит ARM в невыгодное положение при сравнении длин кода. Для повышения быстродействия в этих файлах инструкции перемешаны с пулами литералов (констант и таблиц адресов переходов). В частности, у ARM в программном коде CoreMark содержится 970 байтов данных для Cortex-M4 и 1036 байтов для Cortex-M0+. Компилятор MetaWare тоже создаёт аналогичные структуры данных, но они не включаются в секцию .text, хотя и занимают место в памяти программ. Тем не менее, по нашим оценкам, даже при исключении байтов данных из секции .text программного кода ARM, новые инструкции ARC EM обеспечивают чуть более высокую компактность кода, чем знаменитый эффективный набор инструкций Thumb-2 у ARM. В результате создаётся впечатление, что Synopsys нашёл хорошее решение уменьшения объёма памяти и её площади на кристалле, оптимизированное для встраиваемых применений.

ARM Cortex-M4 включает операции SIMD над четырёхкомпонентными векторами длиной в один байт или двухкомпонентными векторами длиной 16 разрядов. Для целочисленных операций DSP, не требующих большой точности, архитектура SIMD в Cortex-M4 должна обеспечить большую производительность на соответствующих алгоритмах. Cortex-M4 также имеет инструкции умножения с накоплением 16- и 32-разрядных операндов, выполняемые аппаратно за один цикл. Процессоры ARC EM ориентированы на малопотребляющие встраиваемые приложения, а для приложений, требующих интенсивных вычислений DSP, Synopsys предлагает свои высокопроизводительные расширения DSP для ядер ARC 600 и ARC 700. ARM не позволяет разработчикам конфигурировать Cortex-M4 без блока DSP, вместо этого предлагается не имеющий такого блока Cortex-M3 с трёхступенчатым конвейером, аналогичным конвейеру в Cortex-M4. Для сравнения: в приложениях, не требующих DSP, ARM Cortex-M3 при тех же условиях, что оговорены в таблице 1, потребляет 32 мВт/МГц и размещается на 0,12 мм², т.е. требует почти втрое больше места и энергии, чем ARC EM4.

Таблица 1 высвечивает некоторые дополнительные особенности процессоров ARC EM в сопоставлении с процессорами Cortex-M. В зависимости от архитектуры SnK и прикладного ПО продукты Synopsys можно конфигурировать так, что при этом достигается несколько технических преимуществ. Например, система памяти ARC EM тесно связана с процессорным ядром, но при этом допускает опциональный кэш в версии EM6. Хотя и Cortex-M, и ARC EM могут получить доступ к памяти за один машинный цикл, в Cortex-M он реализуется через интерфейс AHB-Lite, в котором предусмотрен только один мастер. К ядрам ARC EM можно подключить полноценный интерфейс AHB или использовать BVCI для связи с памятью и периферией. Кроме того, Synopsys существенно улучшил в ARC EM систему обработки прерываний, возможности которой стали сопоставимы с возможностями старших моделей семейства ARM Cortex-M по максимальному числу прерываний, в т.ч. векторных, и аппаратному ускорению сохранения и восстановления контекста. Для большинства из этих параметров Synopsys предоставляет большие возможности по конфигурированию, чем ARM, не говоря уже о таких уникальных возможностях как прямая поддержка множества регистровых файлов для смены контекста за один цикл.

ARC EM — ОТЛИЧНЫЕ ВСТРАИВАЕМЫЕ ПРОЦЕССОРЫ

В разработках процессоров для глубоко встраиваемых применений высокие идеи уступают техническим реалиям: их стоимости и потреблению энергии во встроенных системах. По мере того как будет расти число «распыляемых» внутри каждого встроенного устройства процессорных ядер, разработчики всё чаще будут обращаться к эффективным процессорам, которые обеспечат требуемую производительность, «съедая» минимум площади кремния и энергии. Разработчиков глубоко встраиваемых систем заботит не столько набор инструкций процессора, сколько такие вопросы как его перспективная жизнеспособность, количество и качество поставляемых с процессором средств разработки и отладки, а также гарантии помощи клиентам (customer support) от поставщика. Архитектура процессоров ARC имеет более чем двадцатилетнюю историю, а недавние её усовершенствования в ядрах EM4 и EM6 показывают, что компания Synopsys продолжает инвестиции в свои процессоры ARC и рассматривает их как важный компонент портфеля заказов IP DesignWare.

ANDROID ВМЕСТО LINUX: ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВО ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ

ДМИТРИЙ СИМОНОВ, разработчик

Операционная система Linux давно и заслуженно пользуется популярностью у разработчиков встраиваемых систем благодаря открытости исходных кодов, бесплатности, возможности настройки под конкретные прикладные нужды, доступности как бесплатных, так и коммерческих средств разработки. С появлением Android, которая была выпущена в 2008 г., многие разработчики стали рассматривать возможность применения этой ОС в своих устройствах.

Изначально Android предназначалась для мобильных телефонов и смартфонов. Ее популярность в этом сегменте неуклонно растет и составляет на сегодняшний день более 70% мирового рынка [1]. Сфера применения Android постоянно расширяется. В секторе потребительской электроники популярны разнообразные устройства на Android, такие как планшетные компьютеры, мультимедийные проигрыватели, устройства чтения электронных книг и т.д. Такому широкому распространению Android способствует ее открытость, универсальность, постоянное развитие и совершенствование.

Для профессионального применения различными производителями предлагается все больше плат разработчика, поставляемых с ОС Android. Обычно они содержат высокопроизводительный процессор, например с ядром ARM Cortex-A8, интерфейс для подключения сенсорного ЖК-дисплея, интерфейсы Ethernet, Wi-Fi, USB, CAN, UART, I2C и т.д. Такие платформы могут применяться в качестве промышленных контроллеров, в автомобильных приложениях, медицинских приборах, системах безопасности и видеонаблюдения, измерительных приборах. Для того чтобы сделать осознанный выбор между ОС Linux и Android, следует понимать их особенности и учитывать требования конкретного разрабатываемого изделия.

АРХИТЕКТУРА ANDROID

ОС Android имеет многоуровневую архитектуру (см. рис. 1), в основе которой находится модифицированное ядро Linux (Linux Kernel). Оно отвечает за управление процессами, памятью,

обеспечение безопасности, содержит сетевой стек и модель драйверов. Ядро Linux выполняет функцию абстрагирования остальной части ОС Android от аппаратного обеспечения.

Следующий уровень (Libraries) содержит разнообразные библиотеки, написанные на C/C++, которые используются верхними уровнями ОС. Приложения Android, как правило, напрямую не используют эти библиотеки, а обращаются к ним через фреймворк приложений (Application Framework).

Среда выполнения (Android Runtime) состоит из виртуальной машины Dalvik и набора библиотек ядра (Core Libraries), написанных на Java. Библиотеки Core Libraries содержат реализацию некоторой части базового интерфейса API Java, а также дополнительные специфичные для Android классы. Dalvik является специально созданным Google аналогом проприетарной виртуальной машины Java (Java Virtual Machine), оптимизированным для низкопроизводительных встраиваемых систем с

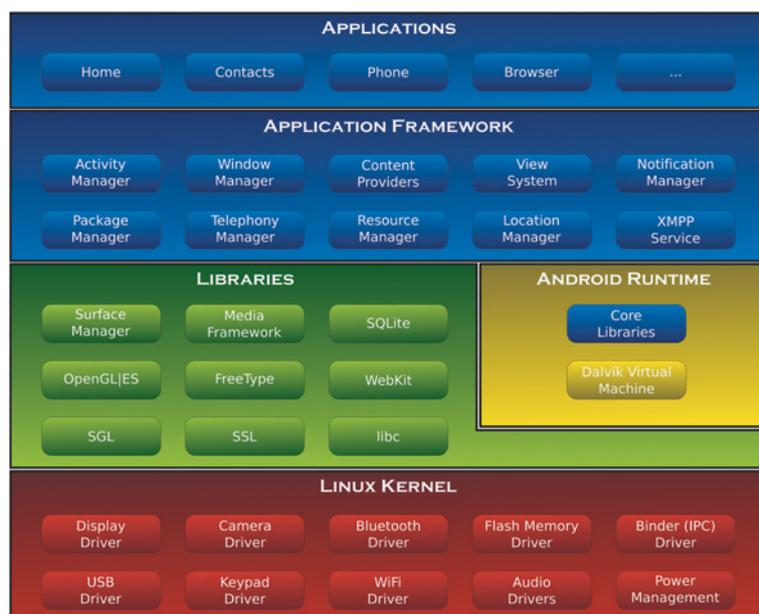


Рис. 1. Архитектура ОС Android

малым объемом памяти. Особенность Android в том, что для каждого выполняющегося приложения создается свой экземпляр виртуальной машины Dalvik.

Уровень фреймворка приложений является развитой инфраструктурой для Android-приложений, предоставляя им богатый набор библиотек и служб, что существенно упрощает и ускоряет разработку. Приложения Android выполняются в специфичной среде, изолированной от ядра Linux и от аппаратного обеспечения несколькими программными уровнями.

Вопрос о том, можно ли считать Android одним из дистрибутивов Linux, является спорным. В любом случае, идеологии Android и Linux во многом различаются, начиная с разработки этих ОС, адаптации их для встраиваемых систем и заканчивая созданием прикладных приложений. Многие рассматривают Android как фреймворк для приложений, построенный поверх ядра Linux.

ЛИЦЕНЗИРОВАНИЕ

И Linux, и Android являются бесплатными ОС с открытыми исходными кодами. Разработчики встраиваемых систем могут использовать их в своих устройствах без каких-либо лицензионных выплат. Приложения, созданные для Linux или Android, могут иметь как открытые, так и закрытые исходные коды в зависимости от того, основаны ли они на исходных кодах с GPL-подобной лицензией.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЙ

Изначально компания Google стремится максимально облегчить создание приложений для Android. Бесплатно предоставляется комплект SDK с набором библиотек, отладчиком, подробной документацией, примерами и обучающими материалами. Разработка Android-приложений возможна на платформах Microsoft Windows, Mac OS X или Linux. Большинство приложений Android создается на кросс-платформенном языке Java и выполняется в виртуальной машине Dalvik, что практически снимает проблему портирования существующих приложений между устройствами, работающими под управлением Android.

Android имеет встроенную поддержку различных технологий сетевого подключения, таких как Wi-Fi, Bluetooth, протоколы передачи данных через сотовую сеть (GPRS, EDGE, 3G и т.д.), навигационные сервисы, 2D- и 3D-графика, включая библиотеку OpenGL и систему управления базами данных SQLite. Эти возможности изначально встроены в ОС, благодаря чему исключается необходи-

мость решать вопросы интеграции и лицензирования для каждого из компонентов.

Приложения Linux разрабатываются чаще всего на C/C++. Разумеется, имеется возможность использовать Java, Python и другие языки, но единого общепринятого способа разработки приложений с помощью унифицированной среды разработки, пакета SDK и набора высокоуровневых библиотек для Linux не существует. При написании программ на C/C++ необходимо использовать средства кросс-разработки для конкретной целевой процессорной архитектуры. При переносе приложений между устройствами, работающими под управлением Linux, может потребоваться перекомпиляция и даже модификация (и, соответственно, повторное тестирование) исходного кода.

Однако применение Java, как известно, имеет свои недостатки. Основной из них — низкая скорость выполнения программ. Интерпретация байт-кода Java происходит гораздо медленнее, чем выполнение машинного кода, полученного компиляцией программ на C/C++. Это особенно критично для приложений, выполняющих криптографические операции, цифровую обработку сигналов, интенсивно работающими с двумерной и трехмерной графикой. Для повышения скорости работы виртуальная машина Dalvik позволяет использовать JIT-компиляцию, при которой байт-код перед началом выполнения компилируется в машинный код. Но даже в этом режиме неизбежны задержки. К тому же существенно увеличивается расход оперативной памяти. Для ускорения некоторых операций имеется возможность вызывать из Java-приложения скомпилированный машинный код (т.н. внутренний код), написанный, например, на C/C++. Для этого существует набор инструментов и библиотек под названием NDK (Native Development Kit). Но NDK имеет свои ограничения. К примеру, он обеспечивает доступ к неполному набору Android API, и использование внутреннего кода усложняет Android-приложение, ограничивая возможности такой оптимизации. Разработчиками этой ОС не рекомендуется создавать приложения для Android полностью на C/C++, а возможность использования внутреннего кода предоставляется для совместимости с существующими библиотеками и ускорения некоторых операций в случаях, когда это целесообразно.

Немаловажным фактором является и то, что многие разработчики программного обеспечения для встраиваемых систем имеют большой опыт программирования на C/C++, и для

перехода на Java может потребоваться значительное время.

ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТНЫМ РЕСУРСАМ

Для эффективной работы Android требуется больше системных ресурсов в сравнении с Linux: производительный процессор, достаточный объем оперативной и флэш-памяти. Необходимый для Android объем оперативной памяти составляет сотни мегабайт, в то время как гибкость конфигурации Linux позволяет настроить эту ОС для работы на аппаратных платформах с объемом памяти в несколько десятков мегабайт.

Благодаря открытости Android также можно модифицировать для работы на устройствах с ограниченными ресурсами, исключив и изменив определенные модули. Однако при этом изменится стандартная среда выполнения приложений, и пострадает совместимость, что делает такую модификацию нецелесообразной.

НИЗКОУРОВНЕВЫЙ ДОСТУП К АППАРАТНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Низкоуровневое управление аппаратным обеспечением из Android-приложений стандартными средствами невозможно. Предполагается, что работа с оборудованием должна осуществляться через предоставляемый интерфейс Java API. Даже если в приложении используется внутренний код, доступ к низкоуровневым функциям не предоставлен. Для обхода этого ограничения существуют способы добавления собственных модулей в ядро Linux и обращения к ним из Java-приложений средствами набора NDK. Но на этом пути могут возникнуть сложности: например, может потребоваться изменение конфигурации и перекомпиляция ядра.

ОС Linux предоставляет гораздо больше возможностей для низкоуровневого доступа к аппаратным средствам, что особенно важно для встраиваемых систем.

ПОДДЕРЖКА РЕЖИМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Хотя Linux не является ОС реального времени (ОСРВ), имеется возможность настройки некоторых ее параметров для реализации такой возможности. При этом ухудшается детерминированность работы системы и время реакции на определенные события. Конечно, для многих приложений, требующих работы в режиме жесткого реального времени, необходимы специализированные ОСРВ, но использование Linux может оказаться целесообразным для многих практических применений.

Адаптировать подобным образом

Android невозможно. В устройствах на Android, предъявляющих повышенные требования к работе в режиме реального времени, этот функционал рекомендуется реализовывать вне данной ОС. Например, на практике используется дополнительная ОСРВ, которая выполняется на отдельном микроконтроллере или микропроцессоре [2].

УДОБСТВО РАБОТЫ ДЛЯ КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

При выборе между Linux и Android необходимо определиться, будет ли у устройства собственный дисплей и графический пользовательский интерфейс. Развитые средства Android облегчают создание пользовательских интерфейсов, а если в разрабатываемом изделии предполагается использовать сенсорный экран, то готовый фреймворк Android предоставит ощутимые преимущества. Кроме более простой разработки преимущество получат и конечные пользователи в виде привычного графического интерфейса Android.

Если для управления устройством и его конфигурирования использовать не графический дисплей, а командную консоль или веб-интерфейс, то эффективно реализовать такой функционал можно в любой из рассматриваемых ОС.

Также следует ответить на вопрос о том, что потребуется конечному пользователю в процессе эксплуатации — устанавливать новые приложения на устройство или самостоятельно обновлять существующие. Возможность установки дополнительных приложений, как правило, важна для потребительских устройств. Возможность обновления установленных приложений пользователем без повторной сборки и полного обновления прошивки может быть очень полезной и во многих специализированных изделиях. Обе ОС позволяют как устанавливать, так и обновлять приложения, но в Android эти функции максимально упрощены и унифицированы благодаря кросс-платформенности и переносимости программ на Java.

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ANDROID И LINUX

Существуют решения, в которых Android работает одновременно с Linux в одном устройстве. Linux при этом является основной ОС и управляет всеми аппаратными ресурсами. Android выполняется в среде Linux в отдельном контейнере LXC (Linux Container), что позволяет запускать Android-приложения [3], сохраняя такие преимущества Linux как

высокая скорость работы и полный доступ к аппаратному обеспечению. Linux обеспечивает безопасность и контроль над обращениями Android-приложений к системным ресурсам. Такая система работает эффективнее на современных многоядерных платформах. Таким образом, при необходимости можно применить компромиссное решение и одновременно использовать обе ОС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выборе ОС для встраиваемого устройства следует учитывать множество противоречивых требований и специфику конкретного проекта. Аппаратные платформы современных встраиваемых систем постоянно совершенствуются, появляются все более производительные процессоры, уменьшается их энергопотребление и стоимость. Ожидается, что ОС Android будет все чаще применяться во встраиваемых устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS23946013>.
2. <http://www.embedded.com/electronics-blogs/destination-esc/4410800/Embedded-Android--Call-me--maybe>.
3. <http://developer.android.com>.



The Power of [Russia]



5–6 июня
«Экспоцентр»
Москва, Россия

Российский рынок полупроводников на подъёме!
Станьте его частью!

Глобальная промышленная ассоциация SEMI работает в области нано- и микроэлектроники, активно поддерживая развитие этой индустрии в России. Выставка SEMICON Russia 2013 и сопутствующие мероприятия помогут Вам встретить новых поставщиков и партнёров, а также узнать о новейших технологиях и тенденциях полупроводниковой промышленности и смежных отраслей.

www.semiconrussia.org

Проводится совместно с:



ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ TRUSTZONE ОТ ARM

СТЕФАНО ДЗАММАТТИО (STEFANO ZAMMATTIO), КЛАЙВ ДЕЙВИС (CLIVE DAVIES), Altera Europe

В статье описаны возможности технологии TrustZone, которая позволяет повысить уровень безопасности систем с интегрированными ARM-процессорами и ПЛИС. В качестве примера реализации защищенного интегрированного решения в статье приведена система управления приводом, построенная на базе СнК Cyclone V от Altera. Статья представляет собой перевод [1].

С внедрением СнК на базе многоядерных процессоров ARM Cortex-A9 и ПЛИС многие разработчики получили возможность построения интегрированных систем путем объединения отдельных микроконтроллеров и цифровой логики в одном многоядерном устройстве. Ключевыми преимуществами такого подхода являются сокращение энергопотребления и размеров, но одной из основных проблем может стать объединение в одном устройстве критичных, с точки зрения безопасности, и не важных для безопасности программных компонентов. На рисунке 1 показана типовая система управления приводом, реализованная на базе трех дискретных устройств. Она имеет незащищенный сетевой/интерфейсный процессор, микроконтроллер-супервизор для управления приводом и ПЛИС, которая выполняет задачу управле-

ния приводом в режиме жесткого реального времени. В затемненном прямоугольнике рисунка 1 указаны элементы, которые определяют безопасность системы и подлежат сертификации на соответствие требованиям безопасности.

Интегрирование системы управления приводами в СнК позволяет использовать одно устройство для обработки сигнала, выполнения функций управления и коммуникаций. Примером устройства для осуществления этих задач может служить 28-нм СнК Cyclone V от компании Altera. Это устройство содержит коммутирующую матрицу ПЛИС с малым потреблением и аппаратную процессорную систему (hard processor system, HPS), которая включает в себя двухъядерный процессор ARM Cortex-A9 и периферийные устройства. HPS-система поддерживает тех-

нологию TrustZone от ARM, которую можно использовать и применительно к матрице ПЛИС (см. рис. 2).

TrustZone — технология компании ARM, предназначенная для разделения многоядерной системы на защищенную среду критичных системных ресурсов и незащищенную среду остальных компонентов системы. Технология TrustZone изолирует критичные области системы так, что к ним возможен доступ только со стороны защищенной среды. TrustZone поддерживается многоядерными процессорами Cortex-A9 MPCore и шиной стандарта AMBA AXI3. В системе с поддержкой технологии TrustZone каждая AXI-транзакция содержит незащищенный бит, который показывает, выполняется данная групповая операция из незащищенной или защищенной среды. На основе этой информации каждый компонент системы, работающий в подчиненном режиме, реагирует в соответствии со своим статусом, определяемым технологией TrustZone. Например, контроллер сброса системы, установленный в защищенный режим, действует только по запросам на сброс из защищенной среды; при этом незащищенные запросы игнорируются. Такой подход можно распространить на все подчиненные компоненты системы, что позволяет реализовать защищенную подсистему в пределах СнК. Изоляция подсистемы от незащищенной среды позволяет запускать в этой зоне безопасное программное обеспечение без риска его взлома программным путем или с помощью AXI-транзакций со стороны незащищенных областей системы. На основе СнК Cyclone V от Altera можно построить систему управления приво-

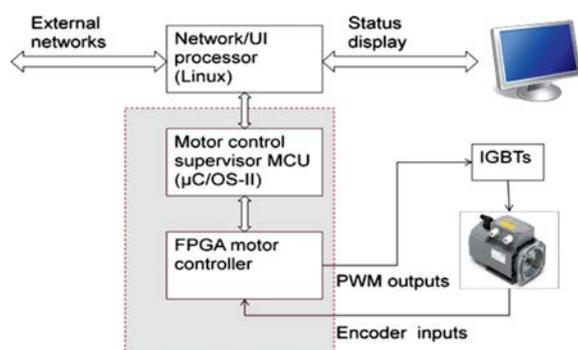


Рис. 1. Структурная схема типовой системы управления приводом

External networks — внешние сети; Network/UI processor (Linux) — сетевой/интерфейсный процессор (Linux); Status display — дисплей состояния; Motor control supervisor MCU (µC/OS-II) — микроконтроллер-супервизор для управления приводом (µC/OS-II); FPGA motor controller — контроллер привода на ПЛИС; IGBTs — IGBT-транзисторы; PWM outputs — ШИМ-выходы; Encoder inputs — входы кодера

дом. Она включает в себя технологию TrustZone от ARM на базе процессора Cortex-A9 MPCore, HPS-периферию, SDRAM-контроллер и ПЛИС, что делает возможным реализовать функции защиты во всех периферийных устройствах системы.

В такой системе критичные функции управления приводом в режиме реального времени исполняются на $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ в ядре 1, в то время как ОС Linux и приложения, которые обеспечивают управление приводом и поддержку коммуникационных каналов, работают на ядре 0 (см. рис. 3). Это сделано для изоляции той области системы, в которой функции процессора ядра 1 могут выполняться без риска взаимодействия с ядром 0. Для этого функции ядра 1 ($\mu\text{C}/\text{OS-II}$) исполняются в защищенной, а функции ядра 0 (Linux) — в незащищенной среде. Эти два процессорных ядра поддерживают связь в пределах совместно используемого физического канала памяти в соответствии со стандартом OpenMCAP. HPS-система статически разбита на разделы, и каждой операционной системе соответствуют свои выделенные ресурсы. Память разделена на области, закрепленные за $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ или Linux, а также совместно используется обеими ОС. Аналогичным образом разделена периферия, но она не используется совместно. Таблица конфигурирования ведущих устройств содержит все ведущие AXI-устройства в HPS-системе и их статусы защиты в соответствии с технологией TrustZone. Каждый статус задается таким образом, что периферия всегда получает защищенный или незащищенный доступ, либо этот статус устанавливается для каждой транзакции (групповой операции).

Применение технологии TrustZone от компании ARM на многоядерных СМК на базе ПЛИС позволяет разработчикам использовать преимущества интегрированного устройства, не нарушая тре-

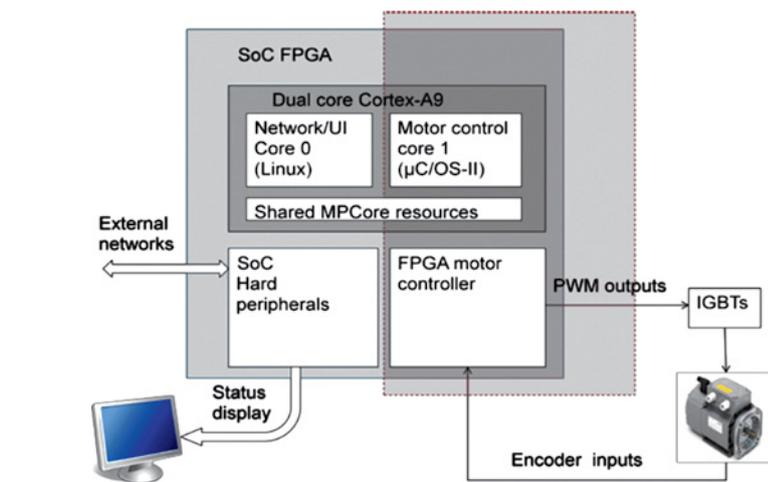


Рис. 2. Однокристалльная система управления приводами

SoC FPGA — СМК на базе ПЛИС; Dual core Cortex-A9 — 2-ядерный процессор Cortex-A9; Network/UI Core 0 (Linux) — ядро 0 для сетевых/интерфейсных функций (Linux); Motor control core 1 ($\mu\text{C}/\text{OS-II}$) — ядро 1 для управления приводом ($\mu\text{C}/\text{OS-II}$); Shared MPCore resources — совместно используемые ресурсы процессора MPCore; External networks — внешние сети; SoC Hard peripherals — аппаратная периферия СМК; FPGA motor controller — контроллер привода на ПЛИС; PWM outputs — ШИМ-выходы; IGBTs — IGBT-транзисторы; Encoder inputs — входы кодера; Status display — дисплей состояния

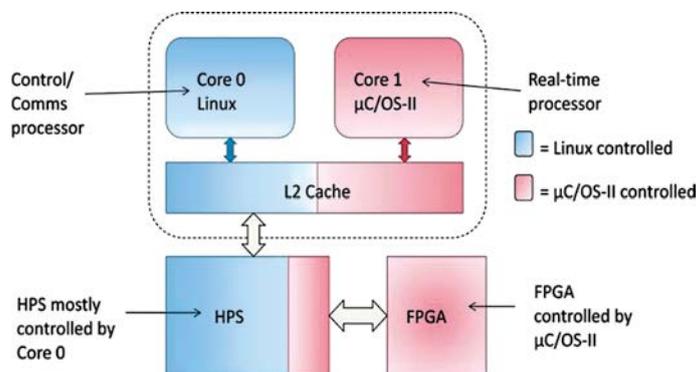


Рис. 3. Структурная схема управления приводами на базе СМК Cyclone V

Control/Comms processor — управляющий/коммуникационный процессор; Core 0 Linux — ядро 0 на Linux; Core 1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ — ядро 1 на $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; L2 Cache — L2-кэш; Real-time processor — процессор, работающий в режиме реального времени; Linux controlled — под управлением Linux; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ controlled — под управлением $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; HPS mostly controlled by Core 0 — HPS-система управляется, главным образом, ядром 0; HPS — HPS-система; FPGA — ПЛИС; FPGA controlled by $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ — ПЛИС управляется ядром 1

бований по обеспечению безопасности какого-либо приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stefano Zammattio, Clive Davies. *Partitioning a system for safe and non-safe applications using ARM's TrustZone technology*/www.altera.com.



Выборг +7 81378 54653,
Москва +7 495 7881292
Санкт-Петербург +7 812 3216160,
Ульяновск +7 8422 256939
info@icgamma.ru, www.icgamma.ru

СОБЫТИЯ РЫНКА

МИНИСТР НИКИФОРОВ ОБСУДИЛ С ПРЕЗИДЕНТОМ QUALCOMM ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОГО НЕРАВЕНСТВА | Министр связи и массовых коммуникаций Российской Федерации Николай Никифоров встретился с президентом компании Qualcomm, которая производит цифровые телекоммуникационные продукты.

На встрече обсуждались возможности применения технологий и устройств компании для решения проблемы цифрового неравенства в России. Особое внимание участники встречи уделили проблеме обеспечения связью малых населенных пунктов на удаленных территориях России. В частности, предметом дискуссии стало развитие сетей четвертого поколения LTE, а также технологии производства дешевых, социально-ориентированных мобильных устройств, стоимостью менее 3 тыс. руб., способных работать в сетях 3G и 4G.

Представители Qualcomm рассказали о своих планах по технологическим разработкам и по внедрению новых устройств и чипсетов, которые могут применяться в данных технологиях.

В свою очередь, Николай Никифоров отметил важность работы в данном направлении для России. По его словам, у нашей страны имеется очень большой потенциал по устранению цифрового неравенства.

Также стороны обсудили перспективные технологии, применяемые в таких важных секторах как электронное образование и здравоохранение.

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ TE CONNECTIVITY ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

ИГОРЬ ЗАПОРОЖЧЕНКО, руководитель департамента электромеханики, PT Electronics

Компания **TE Connectivity**, ведущий мировой поставщик электрических компонентов, соединителей, сетевых решений и продукции особого назначения, расширяет будущие возможности высокоскоростных надежных соединителей. Компания предлагает усовершенствованные серии высокоскоростных соединителей, предназначенных для военной и коммерческой авиакосмической промышленности (см. рис. 1).

1. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА СОЕДИНИТЕЛЕЙ MULTIGIG RT-2R

Для анализа информации от сенсорных датчиков и обработки видео- и

радиосигналов, поступающих в режиме реального времени по военным или коммерческим каналам (обработка информации в стандарте Rapid IO или OPEN VPX), компания TE Connectivity усовершенствовала систему соединителей MULTIGIG RT (см. рис. 2).

Новая серия соединителей **MULTIGIG RT-2R** соответствует требованиям стандарта VITA 46 — открытой архитектуре системы определения реального времени модульными вычислительными системами. Высокоскоростные соединители MULTIGIG RT-2R предназначены для соединения «плата-плата» и совместимы со всеми существующими соединителями VITA 46 на дочерних платах (см. рис. 3).

Особенностью новой серии соединителей является ее устойчивость к

высоким уровням вибрации и ударам. Соединители снабжены четырехкратным резервированием контактных групп (см. рис. 4). Надежность соединения была протестирована по программе ускоренного ресурсного испытания HALT (Highly Accelerated Life Test), при которой уровень устойчивости к вибрации превышал требования стандарта VITA 72. Испытания подтвердили надежность работы системы контактов на 10 000 циклов соединения/разъединения. Габариты соединителей соответствуют размерам 3U и 6U VPX профиля слотов с шагом 0,8 дюйма.

Соединители MULTIGIG RT-2R предназначены для поддержки высокоскоростных протоколов соединений встроенных модульных вычислительных систем наземной обороны, про-

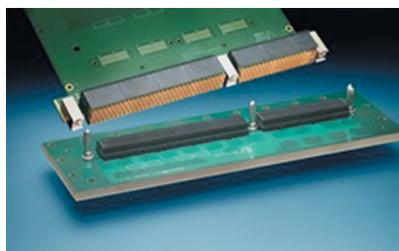


Рис. 1. Общий вид соединителей MULTIGIG RT-2R

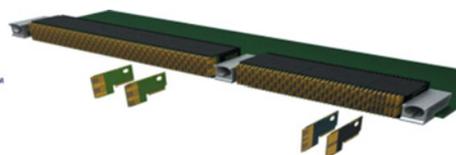


Рис. 2. Общий вид соединителей MULTIGIG RT-2R

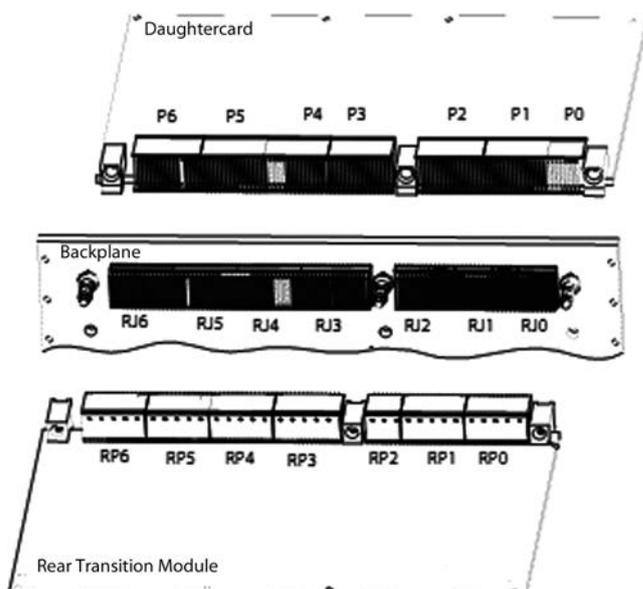
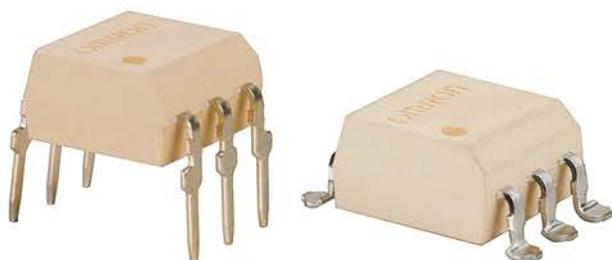


Рис. 3. Модули соединителей



СКЛАД РЕЛЕ OMRON

ОТ ОПТИЧЕСКИХ → ДО СИЛОВЫХ



MOSFET-реле серии G3VM

- Типы корпусов: DIP4, DIP6, DIP8, SOP4, SOP6, SOP8
- Изоляция вход/выход:
от 1500V RMS до 5000V RMS
- Напряжение нагрузки: до 600 Вольт
- Непрерывный ток нагрузки: до 8 Ампер
- Сопротивление канала
в открытом состоянии: 45 МОм
- Рабочая температура: от -40°C до +85°C

а также в наличии: силовые реле,
сигнальные реле, высокочастотные реле



Силовые реле серии MY4

- Модель с блокируемой тестовой кнопкой
- Различные варианты исполнения
- Стандарт защиты от дугового разряда
на 4-полюсных реле
- Диэлектрическая проницаемость: 2000 В
- Экологически чистые контакты,
не содержащие кадмия
- Сертификаты соответствия
стандартам безопасности
- Широкий выбор колодок на DIN-рейку
и дополнительных аксессуаров
- Максимальный коммутируемый ток: 10А

Возможны поставки кнопок, DIP-переключателей, датчиков Omron под заказ.



ELECTRONICS

ЗАКАЗ ПРОДУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОНСУЛЬТАЦИИ:

8-800-333-6350 omron@ptelectronics.ru



Рис. 4. Четырехкратное резервирование контактных групп

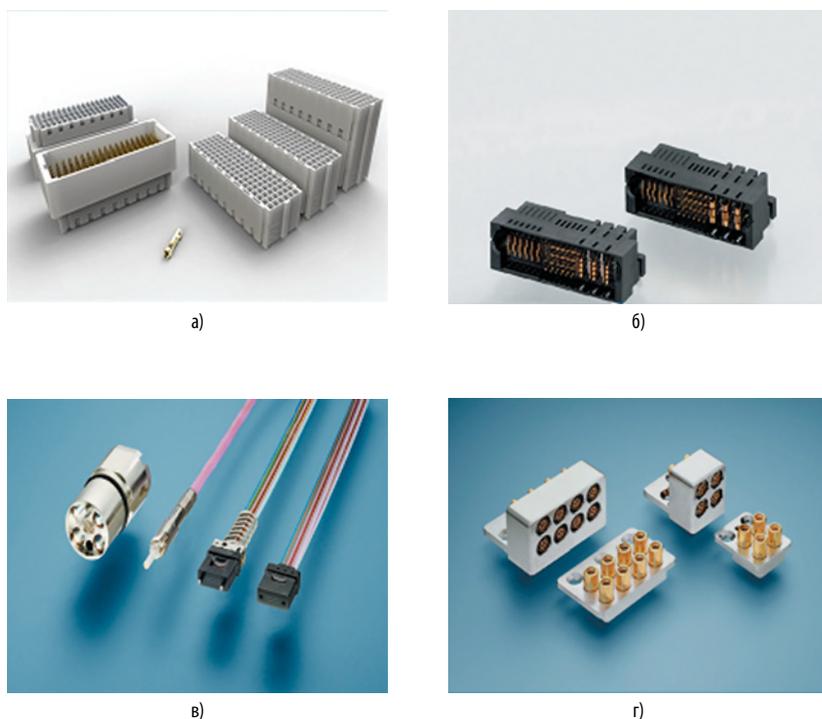


Рис. 5. Семейство разъемов FORTIS ZD — новое поколение: а) мезонинные соединители MAZALOK; б) силовые соединители MULTI-BEAM; в) оптические соединители (совместимые с VITA 66); г) ВЧ-модули (совместимые с VITA 67)

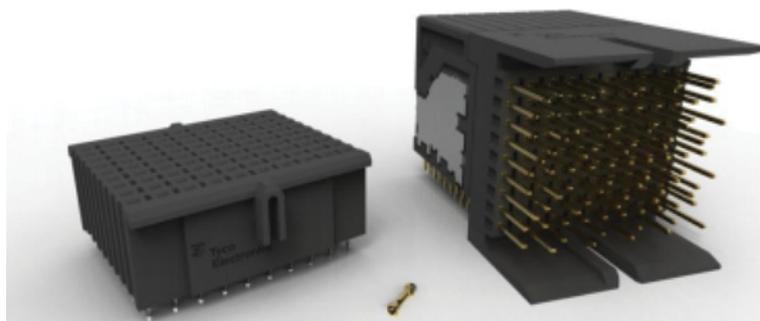


Рис. 6. Общий вид разъемов FORTIS ZD

тиворакетной обороны, а также для других военных, коммерческих и авиакосмических применений.

Характеристики MULTIGIG RT-2R:

- корпус: высокотемпературный пластик;
- контакт: сплав меди с гальваническим покрытием 50 мкм Au по 50 мкм Ni;
- покрытие выводных контактов под запрессовку на плату: олово;
- направляющие: алюминий или нержавеющая сталь;
- рабочая температура: $-55...105^{\circ}\text{C}$;
- скорость передачи данных: ≥ 10 Гбит/с;

Система соединителей MULTIGIG RT-2R может использоваться в сочетании с оптическими модулями VITA 66 и ВЧ-модулями VITA 67 (см. рис. 5).

2. НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ РАЗЪЕМОВ FORTIS ZD NEXT-GEN

По мере увеличения спроса на интеллектуальные системы, функционирующие в реальном времени, важность высококачественных коммутаций приобретает особо важное значение. Компания TE Connectivity разработала новую систему соединителей FORTIS ZD (см. рис. 6), поддерживающую растущие требования к ширине полосы пропускания в экстремальных условиях. Эти соединители выдерживают повышенные ударные и вибрационные нагрузки, которым подвергается военная техника.

Для использования в экстремальных условиях специалисты компании TE Connectivity внесли усовершенствования в конструкцию высокоскоростного разъема (см. рис. 7), соединив электрически сложную высокоскоростную контактную выводную рамку с прочным разъемным контактным сопряжением, хорошо зарекомендовавшим себя в промышленных условиях. Металлическая оболочка обеспечивает более высокую степень прочности как самого сопряжения, так и наружного корпуса соединителя.

Сочетая лучшие характеристики коммерческих высокоскоростных объединительных разъемов с испытанными контактами MIL-SPEC, новый высокоэффективный соединитель FORTIS ZD позволяет развивать скорость передачи данных на уровне 10 Гбит/с и выше. Соединитель обеспечивает надежную связь между модульными вычислительными системами для анализа ситуации в режиме реального времени и своевременного реагирования и контроля.

Исключительную надежность системы соединителей FORTIS ZD придает специально разработанный контакт Four-Beam Voh (см. рис. 8), устойчивый к сильным ударам и вибрации.

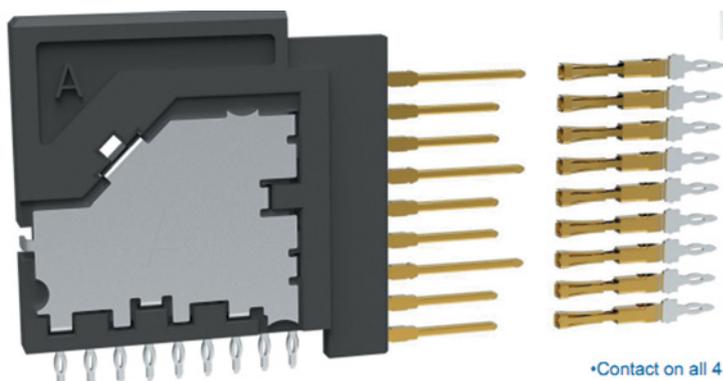


Рис. 7. Вид в разрезе разъемов FORTIS ZD

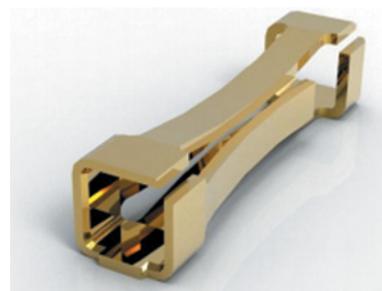


Рис. 8. Вид контакта Four-Beam Box



Рис. 9. а) пластиковый корпус; б) экранированный корпус; в) корпус, собранный на производстве TE Connectivity



Рис. 10. Внешний вид мезонинного соединителя Mezalok

Рис. 11. Высокоточные и долговечные соединители Mezalok Mezzanine

Характеристики контакта Four-Beam Box:

- скорость передачи данных ≥ 10 Гбит/с;
- высокая устойчивость к вибрации и механическим повреждениям;
- высокая надежность и универсальность;
- модульная система соединителей;
- M55302 Four-Beam Box обеспечивает четырехстороннюю зону контакта;
- экранировка FMI;
- срок службы: 500 циклов;
- рабочие температуры: $-55...125^{\circ}\text{C}$.

Материал изготовления

- контакт: сплав меди, покрытие 50 мкм Au по 50 мкм Ni в зоне контакта, олово на выводах под запресовку;

- корпус: высокотемпературный термопластик;
- экран: сплав меди, покрытие Sn Pb plated, Nickel plated 6061 Aluminum (см. рис. 9).

Модули соединителей

- 10- и 20-рядные модули;
- 3 пары (9-рядные) и 2 пары (6-рядные) модулей;
- конфигурация 6U — 300 дифференциальных пар.

Применение

- военная/гражданская авиация;

- наземные системы обороны;
- беспилотные летательные аппараты.

3. МЕЗОНИННЫЙ СОЕДИНИТЕЛЬ MEZALOK ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Компания TE Connectivity разработала специальный соединитель Mezalok Mezzanine (см. рис. 10) для высоконадежных мезонинных применений, надежность скорость передачи сигнала по которому в два раза превышает

технологические решения ближайших конкурентов.

Эта инновация позволяет считать Mezalok Mezzanine самым верным решением для коммерческих, военных и авиакосмических применений на сегодняшний день.

Требования ко встраиваемым и совместимым модульным вычислительным электронным системам, объединенным в надежные платформы, постоянно растут. Соответственно, эти требования переносятся на надежность и долговечность межплатных соединений.

Mezalok Mezzanine отвечает требованиям стандарта VITA 61 и предназначен, прежде всего, для вычислительных систем оборонного и авиакосмического сегментов.

Mezalok Mezzanine соответствует по своим электрическим характеристикам требованиям стандарта MIL 55302, что делает его лучшим соединителем в своем классе, а разработчикам обеспечивает задел на модернизацию и совершенствование своих изделий.

Mezalok Mezzanine совмещает в себе высокую надежность и долговечность с возможностью передачи сигнала выше 5 ГГц с преимуществами мезонинного соединителя SMT-исполнения (см. рис. 11).

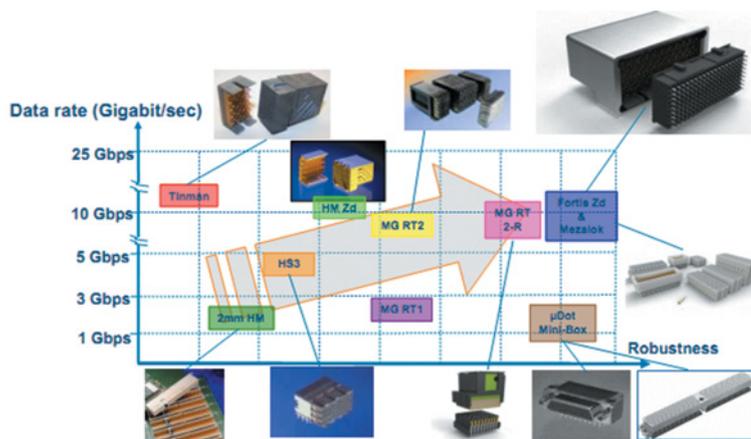


Рис. 12. Эволюция соединительной системы от компании TE Connectivity

Материал LCP, используемый для изготовления пластикового корпуса Mezalok Mezzanine, обеспечивает высокую устойчивость к повышенным температурам в сочетании с минимальной дегазацией пластика.

Характеристики корпуса мезонинного соединителя Mezalok:

- ≥5 ГГц;
- 500 циклов сочленения;
- надежный корпус;

- герметичное исполнение;
- четырехкратная система резервирования контакта;
- соответствие стандарту VITA 61;
- высота мезонина: 10, 12 и 18 мм;
- 60 и 114 контактов.

На рисунке 12 представлены рекомендации по выбору соединительной системы от компании TE Connectivity в зависимости от требований к уровню передаваемого сигнала и надежности системы соединителей.

СОБЫТИЯ РЫНКА

Окончание. Начало см. на с. 50

| ПОИСК НОВЫХ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ INTEL | Ультрабуки — еще одно «спорное» детище Отеллини на посту главы Intel. Воодушевившись успехом ультратонких ноутбуков Apple Air, в корпорации Intel почему-то решили, что аналогичное стильное устройство должно быть почти у всех пользователей ПК, и они его охотно купят по цене 700 долл., если оно будет весить в районе 1 кг и работать от батареи около 8 ч. Intel вложила в рекламу ультрабуков и в поощрение производителей этих устройств громадные деньги, но не получила желаемого успеха. В первые годы ультрабуки стоили существенно дороже обещанных 700 долл., редко работали от батареи заявленные 7–8 ч и точно не приносили реальной прибыли Intel.

В 2013 г. ситуация с ультрабуками потихоньку начинает раскачиваться, но говорить об успехе еще очень рано. Тем более что на пятки ультрабукам наступают не только планшеты, но и трансформеры, совмещающие в себе удобства планшетов и ноутбуков (ультрабуков). И снова Intel пока остается не у дел, поскольку эти устройства выгоднее делать на SNK ARM.

Даже традиционный партнер Intel по альянсу Wintel — корпорация Microsoft — год назад поняла, что такими темпами «кашу не сварить», и сама ударилась в создание аппаратной электроники, выпустив планшеты Surface на ARM-процессоре и Surface Pro на Intel Core.

Как в этих условиях (очевидно, и послуживших причиной преждевременной отставки Отеллини) не задуматься о поиске новых стратегий развития компании?

На ум приходят и возможность покупки компании AMD, у которой недавно вышли очень удачные гибридные процессоры, и предоставление фаундри-услуг Intel другим компаниям — благо, лидерство Intel в технологиях полупроводникового производства пока еще безоговорочно. Известно, что Intel не в состоянии в настоящее время полностью загрузить свои многочисленные фаундри из-за снижения спроса на ПК. В такой ситуации опыт производителя Кржанича окажется очень кстати. Есть у корпорации и много других векторов для возможного развития. И среди них — многие из тех, что курировала до сих пор умница Рене Джеймс.

Итак, хотя ожидания независимых аналитиков рынка относительно назначения главой корпорации после Отеллини нового «технаря» и не оправдались, выбор на ключевые посты Intel Кржанича и Джеймс достаточно четко дают понять, что совет директоров корпорации предпочел сделать упор на производственные возможности, а также на новые для Intel рынки ПО, услуг, мобильных и коммуникационных технологий. Процессорами и чипсетами компания продолжит заниматься в обычном для себя режиме — задел у Intel сделан на годы вперед, а если она еще и приобретет AMD, то беспокоиться за ближайшее будущее монополиста на рынке ПК и ноутбуков вообще незачем. Кстати, от выпуска материнских плат Intel недавно полностью отказалась...

www.russianelectronics.ru

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ JTAG-ТЕСТИРОВАНИЯ

ДЖЕЙМС СТЭНБРИДЖ (JAMES STANBRIDGE), менеджер по продажам, JTAG Technologies

Технология граничного сканирования была разработана в конце 1980-х гг. специально созданной рабочей группой, названной JTAG (Joint Test Action Group). Изначально стояла задача решения проблем тестирования печатных плат, т.к. в то время начался переход на компоненты для поверхностного монтажа.

Разработанная группой JTAG технология использует цепочку связанных тестовых ячеек, которые образуют т.н. регистр граничного сканирования (boundary-scan register, BSR) внутри каждого компонента, поддерживающего данную технологию. С помощью этих ячеек можно управлять выходами компонентов для подачи тестовых сигналов и считывать уровни с соответствующих входов для проверки прохождения сигналов через соединения на печатной плате.

Продвижением данных внутри компонента управляет конечный автомат, называемый TAP-контроллером (Test Access Port). Подключение к системе осуществляется через четыре (иногда пять) выводов (см. рис. 1): TDI (Test Data In), TDO (Test Data Out), TCK (Test Clock) и TMS (Test Mode Select). Иногда используется дополнительная линия сброса TRST (Test Reset).

Название JTAG прочно закрепилось за новой технологией, а официально она была стандартизирована в 1990 г. под названием IEEE 1149.1. Позже, с ростом популярности стандарта в 1990-е гг., многие производители предложили решения на основе технологии граничного сканирования, в основном, для тестирования печатных плат в процессе производства. Эти инструменты получали информацию о проекте из САПР и создавали структурные тесты для нахождения коротких замыканий и обрывов, а также для проведения простых логических тестов микросхем памяти, шинной логики и т.д.

ДОСТУП ОТКРЫТ

Компания Megger (г. Дувр, Великобритания) специализируется на создании приборов для испытания электроустановок и использует JTAG как неотъемлемую часть производственного процесса. Компания впервые применила технологию граничного сканирования при выпуске новой серии портативных приборов PAT (Portable Appliance Tester).

Название Megger ассоциируется с приборами PAT, и компания постоянно стремится выпускать на рынок высокопроизводительные устройства. Недавно было разработано новое семейство PAT-тестеров с улучшенными характеристиками: внутренняя база данных для хранения результатов, быстрый запуск и быстрое возобновление работы после временного отключения при перемещении на новое место. Тестеры содержат четыре платы обработки аналоговых и смешанных сигналов и универсальную процессорную плату, одинаковую для всех

приборов данного семейства. В качестве форм-фактора для процессорной платы выбран SODIMM, имеющий размер кредитной карты. На ней расположен ARM-процессор производства Atmel, NOR и NAND флэш-память, оперативная память SDRAM и контроллер Ethernet. Соединение с платами обработки аналоговых и смешанных сигналов и с TFT-дисплеем производится через 200-выводный краевой разъем.

Обычно в процессе производства Megger тестирует платы с использованием матрицы игольчатых контактов. Но данный подход оказался неприемле-

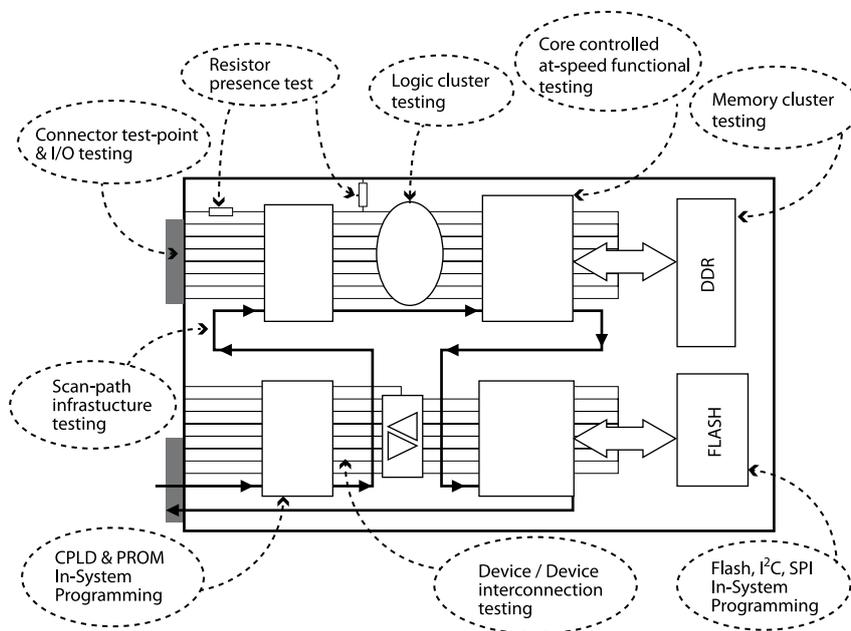


Рис. 1. Пример реализации граничного сканирования на уровне печатной платы с соединением сканируемых компонентов в цепочку. Выход TDO одного компонента подключается ко входу TDI следующего. Выводы TCK, TMS и TRST (на рисунке не показаны) всех сканируемых компонентов соединяются параллельно. Надписи показывают различные виды тестирования и внутрисхемного программирования, которые можно провести с использованием JTAG

Connector test-point and I/O testing — проверка контрольных точек и линий ввода-вывода на разъеме; Scan-path infrastructure testing — тестирование целостности JTAG-цепочки; CPLD & PROM In-System Programming — внутрисхемное программирование CPLD и ПЗУ; Resistor presence test — проверка наличия резисторов; Logic cluster testing — кластерное тестирование логических элементов; Device — Device interconnection testing — проверка соединений между компонентами; Core controlled at-speed functional testing — функциональное тестирование на рабочей частоте путем управления ядром; Memory cluster testing — кластерное тестирование памяти; Flash, I²C, SPI In-System Programming — внутрисхемное программирование флэш-памяти и микросхем памяти с интерфейсами I²C, SPI; Cluster — логический кластер; Core — ядро

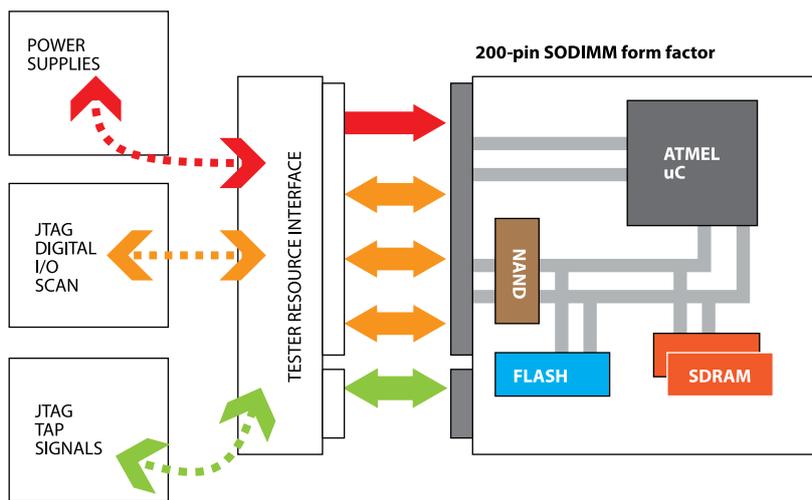


Рис. 2. Общая компоновка печатной платы и тестового интерфейса. При проведении граничного тестирования проверяются соединения с внешними устройствами ввода-вывода, интерфейс SODIMM, отсутствие замыканий между выводами процессора Atmel. Далее тестируются интерфейсы устройств памяти (SDRAM, NOR-флэш и NAND-флэш), проводятся кластерные тесты логических элементов и проверяется функционирование логических блоков

Power supplies — источники питания; JTAG digital I/O scan — устройство сканирования цифровых линий ввода-вывода; JTAG TAP signals — сигналы JTAG-порта; Tester resource interface — интерфейс тестовой платы; Atmel uC — процессор Atmel; JTAG interface signals — сигналы интерфейса JTAG; Unit Under Test — испытуемое устройство; 200-pin SODIMM form factor — форм-фактор 200-выв. SODIMM

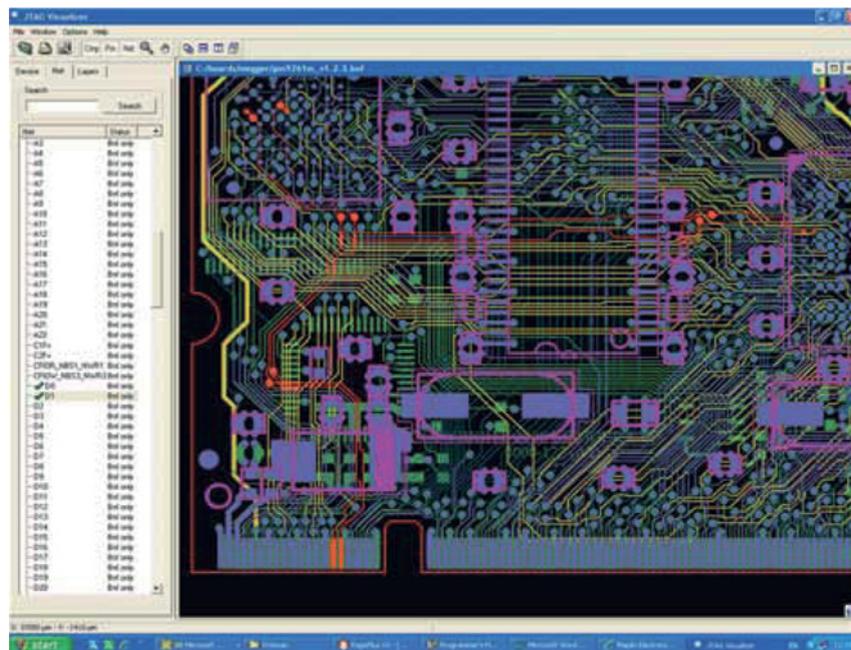


Рис. 3. Для выявления проблем в процессе производства в компании используются инструменты времени выполнения (runtime tools) и JTAG Visualizer от JTAG Technologies. JTAG Visualizer позволяет отображать информацию непосредственно на принципиальной схеме или на изображении печатной платы. На рисунке показано, как выделяются две линии данных, между которыми предполагается наличие замыкания

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРОБОВАТЬ JTAG БЕСПЛАТНО

Стоимость инструментов JTAG-тестирования класса High-End достигает нескольких тысяч фунтов в зависимости от набора опций. Тем не менее, опробовать основные функции граничного сканирования можно бесплатно, загрузив последнюю версию приложения JTAGLive Buzz.

Buzz — это утилита, позволяющая в интерактивном режиме проверять наличие соединений и считывать сигналы с выводов компонентов. Подключение к тестируемому устройству производится через любой поддерживаемый JTAG-адаптер (Altera USBBlaster, JTAGLive controller Xilinx downloader).

Поскольку данные из САПР не требуются, а необходима лишь базовая информация о JTAG-цепочке, начать работу можно за несколько минут. Основное применение приложения — «прозвон» (buzz-out) соединений по аналогии с цифровым мультиметром. Однако возможности системы гораздо шире благодаря способности управлять сразу несколькими выводами и считывать значения логических уровней, что позволяет проводить простые логические тесты. JTAGLive Buzz можно скачать на сайте www.jtaglive.com. См. на сайте также описание продукции, ответы на часто задаваемые вопросы и отзывы пользователей о работе с JTAGLive.

мым для компонентов, в т.ч. в корпусах BGA, расположенных на обеих сторонах платы, т.к. места для подсоединения тестовых щупов было недостаточно. Однако одна из микросхем — процессор Atmel — поддерживала технологию JTAG. Проконсультировавшись с JTAG Technologies, в Megger выяснили, что даже при наличии только одной совместимой с JTAG микросхемы тестовое покрытие может достичь 75%. Было решено использовать отдельную тестовую плату в отдельном корпусе, к которой будет подключаться процессорная плата через 200-выводный разъем. На тестовой плате имеются два разъема JTAG: один — для подключения к процессору Atmel, другой — для управления дополнительными устройствами JTAG-сканирования, которые имеют доступ ко множеству печатных проводников процессорной платы через контакты краевого разъема (см. рис. 2).

Благодаря такому подключению процессорной платы и связи с ней через JTAG инженеры Megger могут тестировать все сигнальные линии 200-выводного разъема. Во время проверки выявляются повреждения печатных проводников, выводов разъема, короткие замыкания между выводами SMD-компонентов и/или контактными площадками. После проверки целостности соединений можно протестировать микросхемы памяти и считать из них идентификационные данные.

Для выявления проблем в процессе производства в компании используют инструменты времени выполнения (runtime tools) и JTAG Visualizer от JTAG Technologies. Visualizer позволяет отображать информацию непосредственно на принципиальной схеме или на изображении печатной платы (см. рис. 3).

Эти инструменты позволили Megger оптимизировать производственный процесс благодаря упрощению поиска проблемных мест на платах, требующих ремонта. К примеру, если обнаружился дефект, связанный с монтажом набора резисторов в SMD-корпусе или микросхемы в корпусе BGA, проводилась коррекция шаблонов и режима пайки.

В настоящее время компания Megger близка к достижению 100% выхода годных изделий.

ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ

Существуют и другие способы JTAG-тестирования плат, подобных процессорной плате Megger, хотя они не применялись в описанном выше проекте. Например, в 2011 г. JTAG Technologies выпустила серию модулей CoreCommander, предназначенных для доступа к процессорным ядрам. В отличие от традиционных

инструментов граничного сканирования, CoreCommander не использует регистр BSR для доступа к выводам микросхемы, а управляет ядром процессора. При этом процессор обычно переводится в режим отладки (эмуляции).

На данный момент CoreCommander поддерживает ядра ARM7, ARM9 (как в примере Megger), ARM11, Cortex, PowerPC и др. Доступ к процессору через его ядро предоставляет такие преимущества как повышенная скорость тестирования (как правило, на рабочей частоте системы) и доступ ко встроенным аналого-цифровым пери-

ферийным устройствам, например АЦП, что позволяет считывать через JTAG результаты аналоговых измерений.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Все больше разработчиков и технологов осознают преимущества быстрого выхода на рынок благодаря упрощенной отладке и ускорению внедрения новых изделий. Поэтому ожидается, что JTAG будет чаще применяться для отладки прототипов и тестирования в процессе производства, а стоимость оборудования JTAG продолжит снижаться.

Также предполагается, что внутрикристалльные средства JTAG-отладки будут интегрироваться с логическими «ядрами» BIST (Built-In Self Test), которые встраиваются, например, в ПЛИС. Это откроет новые возможности по тестированию на рабочей частоте многих компонентов, например памяти DDR.

Дополнения к стандарту JTAG, в т.ч. IEEE P1687, должны определить механизмы доступа к интегрируемым «тестовым инструментам», что в еще большей мере расширит возможности использования проверенного временем порта JTAG.

СОБЫТИЯ РЫНКА

| ЕВРОПА ВЛОЖИТ 5 МЛРД ЕВРО В МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ | Еврокомиссия заявила о намерении в течение следующих 7 лет вложить в строительство новых заводов в Европе по производству полупроводников 5 млрд евро. Ожидается, что такой же объем средств будет инвестирован частным сектором.

Первой целью программы является удвоение доли на мировом рынке полупроводниковой промышленности, второй — повышение эффективности местных производителей электроники, которые смогут пользоваться более дешевой продукцией локальных поставщиков. Это также создаст в регионе тысячи новых рабочих мест.

Предполагается, что европейская продукция будет использоваться в смартфонах, медицинском оборудовании, энергетике, транспортной сфере и т.д. Европейские власти рассчитывают повысить эффективность полупроводниковой отрасли за счет перехода с 300- на 450-мм подложки, чтобы снизить себестоимость каждого кристалла.

Практически все инвестиции будут направлены на развитие четырех технопарков: в Дрездене (Германия), Гренобле (Франция), Эйндховене (Нидерланды) и Левене (Бельгия). Предполагается, что такая концентрация ресурсов позволит эффективнее заниматься научно-исследовательской деятельностью.

Объем, который Еврокомиссия планирует вложить в рынок полупроводников, сопоставим с размером инвестиций компании Intel в экономику США. В 2011 г. эта американская корпорация объявила о намерении вложить 5 млрд долл. в строительство нового завода (Fab 42) по выпуску полупроводников в шт. Аризона. Его строительство планируется завершить в этом году.

www.russianelectronics.ru

www.jtag-technologies.ru

JTAG
TECHNOLOGIES™



Надежность электроники специального назначения достигается тщательным тестированием...

Системам тестирования JTAG Technologies отдают предпочтение ведущие мировые производители электроники для космических аппаратов, авиации, военной техники, систем жизнеобеспечения и автомобилей. Это области, где ошибки недопустимы.

А как вы тестируете цифровую электронику?

Представительство JTAG Technologies в России
Телефон: (812) 313-9159
Факс: (812) 313-9100
E-mail: russia@jtag.com

Эксклюзивный дистрибьютор: ЗАО Предприятие Остек
Телефон: (495) 788-4444
Факс: (495) 788-4442
E-mail: info@ostec-group.ru

Преобразование импульсного понижающего стабилизатора в интеллектуальный драйвер светодиодов

ДЖОН КРАФТ (JON KRAFT), специалист по применению, Analog Devices

В статье представлены доступные способы реализации интеллектуального драйвера светодиодов с возможностью регулировки яркости на базе стандартной микросхемы понижающего стабилизатора. Эти эффективные и простые решения позволяют снизить стоимость конечных приложений для систем освещения на базе светодиодов. Статья представляет собой перевод [1].

Благодаря длительному сроку службы и малому энергопотреблению светодиоды способны изменить всю светотехническую отрасль, однако основным ограничивающим факто-

ром их быстрого внедрения остается стоимость. Затраты на производство светодиодных светильников (полного набора осветительных компонентов) могут изменяться, однако стоимость

светодиодов, которая обычно составляет 25—40% от общей стоимости светильника, остается довольно высокой на протяжении многих лет (см. рис. 1).

Одним из способов снижения общей стоимости светильника является управление светодиодом при максимально допустимом постоянном токе, предусмотренном в технической документации. Он может быть существенно выше тока «биновки» светодиода. На рисунке 2 показан световой выход и эффективность светодиода в зависимости от управляющего тока. Если управлять светодиодом надлежащим образом, то можно увеличить эффективность генерирования светового потока, т.е. отношение числа люменов к стоимости. Однако для этого требуются драйверы, рассчитанные на более высокие токи.

Есть множество решений для управления светодиодами малыми токами (<500 мА), но для более высоких токов (700 мА...4 А) возможностей имеется меньше. Может показаться удивительным, что рынок полупроводников наполнен решениями для DC/DC-преобразователей, обеспечивающих токи нагрузки до 4 А, но они предназначены для управления напряжением, а не током светодиодов. В статье обсуждается ряд простых приемов реализации интеллектуального драйвера светодиодов на основе понижающего DC/DC-стабилизатора.

Импульсный понижающий стабилизатор выполняет прерывание входного напряжения и передает его на LC-фильтр, в результате чего формируется стабилизированное выходное напряжение, как показано на рисунке 3. В нем используются два

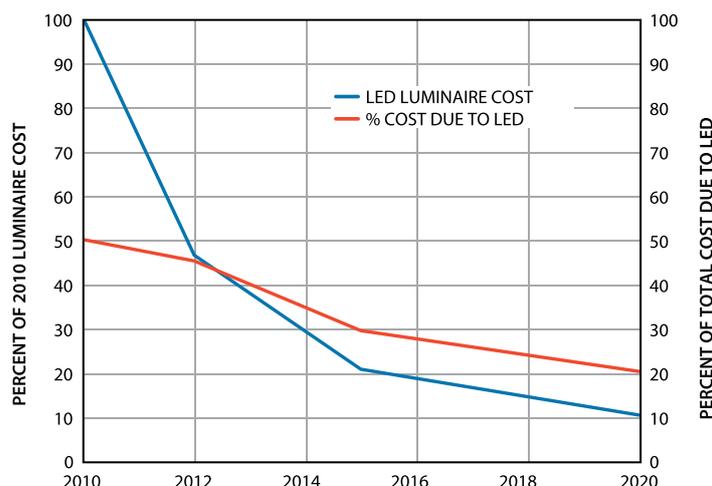


Рис. 1. Падение стоимости светодиодных светильников

Percent of 2010 luminaire cost — процент от стоимости светильника в 2010 г.; Percent of total cost due to LED — процент стоимости светодиода в общей стоимости светильника; LED luminaire cost — стоимость светодиодного светильника; % cost due to LED — процент стоимости светодиода

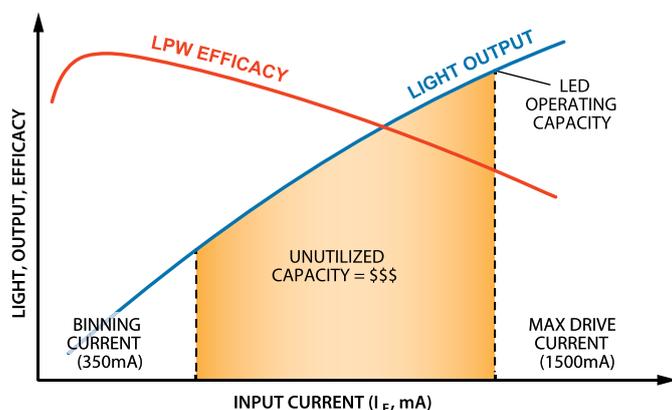


Рис. 2. Световой выход и эффективность светодиода в зависимости от управляющего тока

Light, output, efficacy — световой выход, эффективность; LPW efficacy — эффективность (лм/Вт); Binning current (350 mA) — ток биновки (350 мА); Unutilized capacity — неиспользуемые рабочие токи светодиода; Light output — световой выход; LED operation capacity — рабочий ток светодиода; Max drive current (1500 mA) — максимальный управляющий ток (1500 мА); Input current (I_F , mA) — входной ток, мА

активных и два пассивных элемента. Активными элементами служат ключ А, включенный между входом и катушкой индуктивности, и ключ (или диод) В, включенный между землей и катушкой индуктивности. Пассивные элементы — это катушка индуктивности L и выходной конденсатор C_{OUT} . Они формируют LC-фильтр, который сглаживает пульсации, создаваемые активными элементами.

Понижающий преобразователь называют стабилизатором, когда ключи встроены в микросхему, и контроллером, когда используются внешние ключи. Преобразователь является синхронным, если оба ключа — транзисторы (MOSFET или BJT) или асинхронным, когда нижний ключ реализован в виде диода. Каждая из этих понижающих схем имеет свои достоинства и недостатки, однако синхронные понижающие стабилизаторы обычно оптимизированы по числу компонентов, стоимости решения и площади печатной платы. К сожалению, на рынке мало синхронных понижающих стабилизаторов для управления высокочастотными светодиодами (до 4 А), к тому же они довольно дороги. Используя в качестве примера микросхему ADP2384, в статье будет показано, как можно модифицировать схему включения синхронного понижающего стабилизатора для управления током светодиода.

Микросхема ADP2384 представляет собой высокоэффективный синхронный понижающий стабилизатор с выходным током до 4 А и входным напряжением до 20 В. На рисунке 4 показана обычная схема включения ADP2384 при стабилизации выходного напряжения.

В рабочем режиме часть выходного напряжения с делителя поступает на вывод FB, сравнивается с внутренним 600-мВ опорным напряжением и используется для формирования требуемого рабочего цикла для ключей. В стационарном режиме на выводе FB поддерживается напряжение 600 мВ, поэтому напряжение V_{OUT} стабилизируется на уровне, равном $600 \text{ мВ} \times \text{коэффициент деления}$. Если верхний резистор заменить на светодиоды (см. рис. 5), то выходное напряжение может быть любым (в пределах номинальных значений), необходимым для поддержки уровня 600 мВ на выводе FB. Поэтому ток, протекающий через светодиоды, будет определяться отношением $600 \text{ мВ} / R_{SENSE}$.

Данная схема работает хорошо, когда прецизионный резистор, включенный между выводом FB и землей, устанавливает ток светодиода, однако резистор рассеивает

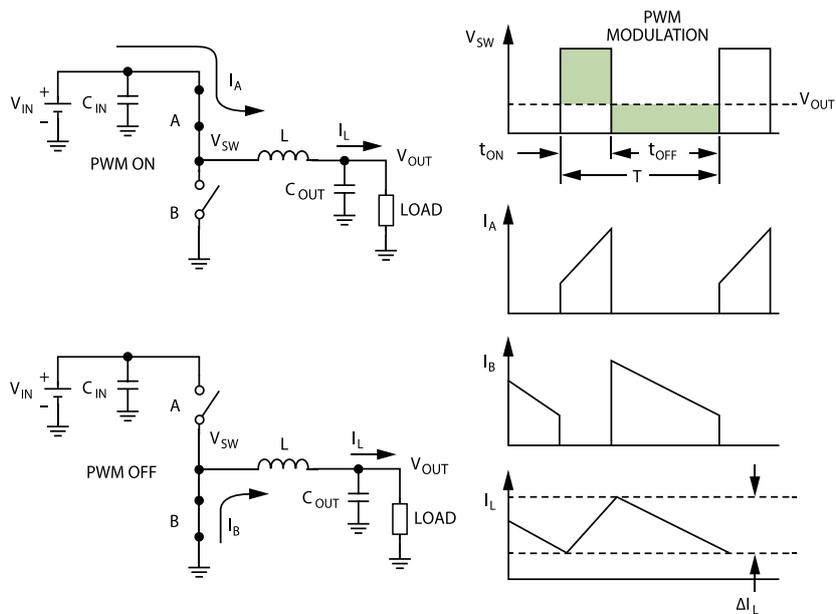


Рис. 3. Базовая схема понижающего стабилизатора

PWM on — ШИМ-модуляция включена; Load — нагрузка; PWM off — ШИМ-модуляция выключена; PWM modulation — ШИМ-модуляция

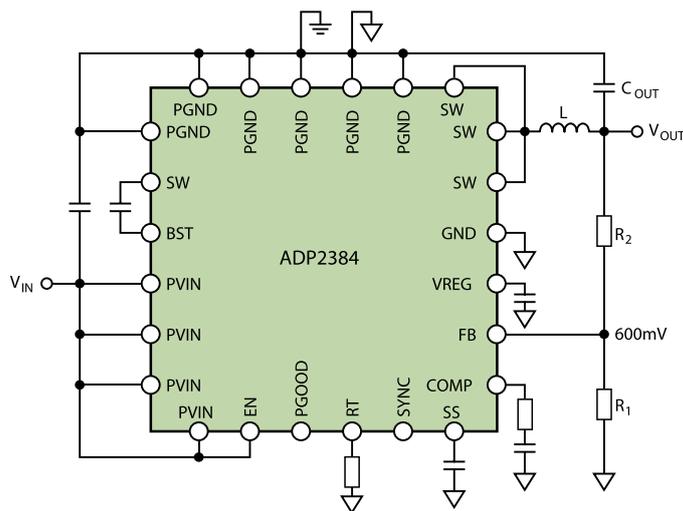


Рис. 4. Схема включения ADP2384 при стабилизации выходного напряжения

600 мВ — 600 мВ

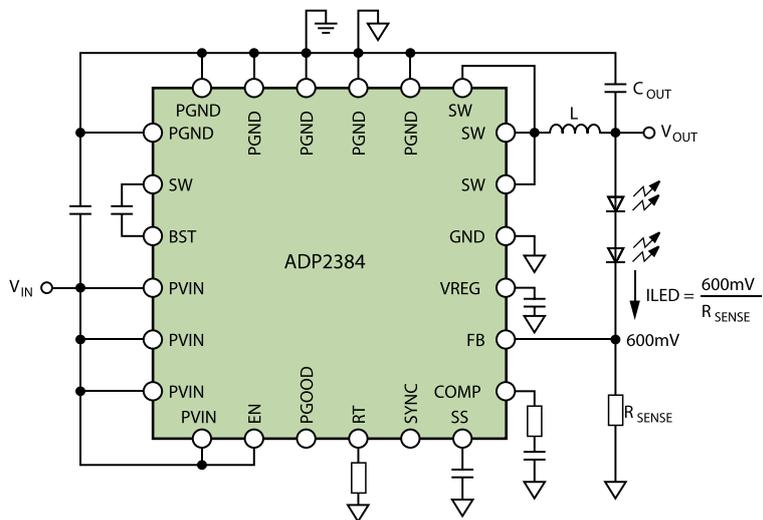


Рис. 5. Базовая (неэффективная) схема драйвера светодиодов

600 мВ — 600 мВ

высокую мощность $P = 600 \text{ мВ} \times I_{\text{LED}}$. Это не является большой проблемой для малых токов светодиода, но при высоких токах эффективность ухудшается, наряду с теплом, рассеиваемым светильником ($600 \text{ мВ} \times 4 \text{ А} = 2,4 \text{ Вт}$). Снижение опорного напряжения на FB пропорционально уменьшает рассеиваемую мощность, но большинство DC/DC-стабилизаторов не имеют средств регулировки этого напряжения. К счастью, имеются два решения, которые могут уменьшить опорное напряжение для большинства стабилизаторов: использование вывода SS/TRK или реализация смещения напряжения на R_{SENSE} .

Во многих микросхемах понижающих преобразователей имеются выводы мягкого старта (SS) или слежения (TRK). Вывод SS минимизирует переходные процессы при запуске путем медленного увеличения рабочего цикла переключения при старте устройства. Вывод TRK позволяет понижающему стабилизатору следовать за независимым напряжением. Эти функции

часто комбинируются в одном выводе SS/TRK. В большинстве случаев усилитель ошибки производит сравнение минимальных напряжений на выводах SS, TRK и FB с опорным напряжением, как показано на рисунке 6.

Для применения в светильниках нужно установить на выводе SS/TRK фиксированное напряжение и использовать его в качестве другого опорного напряжения вместо FB. Делитель, который питается от постоянного напряжения, хорошо работает в качестве опорного источника. Например, во многих микросхемах понижающих стабилизаторов имеется управляемый низковольтный выход, например, такой как вывод V_{REG} в ADP2384. Для повышения точности опорного напряжения можно использовать простой 2-выводной внешний прецизионный источник напряжения, например, ADR5040. В любом случае резистивный делитель, включенный между этим источником напряжения и выводом SS/TRK, формирует нужное опорное напряжение (см. рис. 7). Установка этого напря-

жения в диапазоне между 100 мВ и 200 мВ обычно обеспечивает оптимальное соотношение между потребляемой мощностью и точностью задания тока светодиода. Другим преимуществом опорного напряжения, устанавливаемого пользователем, является то, что можно выбрать стандартный номинал сопротивления R_{SENSE} , что позволяет избежать необходимости применения прецизионного резистора нестандартного номинала при задании тока светодиода.

Метод использования выводов SS или TRK не применим ко всем понижающим стабилизаторам, поскольку некоторые микросхемы не имеют этих выводов. Кроме того в некоторых понижающих стабилизаторах вывод SS изменяет пиковый ток катушки индуктивности, а не опорное напряжение на FB, поэтому нужно тщательно проверять техническую документацию на микросхему. В качестве альтернативы можно использовать смещение напряжения на R_{SENSE} . Например, резистивный делитель между прецизионным источником напряжения и R_{SENSE} обеспечивает постоянное напряжение смещения между R_{SENSE} и выводом FB (см. рис. 8).

Необходимые номиналы резистивного делителя можно найти с помощью уравнения 1, где V_{SUP} — вспомогательное регулируемое напряжение, а $\text{FB}_{\text{REF(NEW)}}$ — необходимое напряжение на R_{SENSE} :

$$R_1 = R_2 \times \frac{V_{\text{SUP}} - \text{FB}_{\text{REF}}}{\text{FB}_{\text{REF}} - \text{FB}_{\text{REF(NEW)}}}$$

Таким образом, чтобы получить эффективное опорное напряжение обратной связи на уровне 150 мВ при $R_2 = 1 \text{ кОм}$ и $V_{\text{SUP}} = 5 \text{ В}$, нужно выбрать следующую величину R_1 :

$$R_1 = 1 \text{ кОм} \times \frac{5,0 \text{ В} - 0,6 \text{ В}}{0,6 \text{ В} - 0,15 \text{ В}} = 9,78 \text{ кОм}$$

Ток светодиода равен:

$$I_{\text{LED}} = \frac{\text{FB}_{\text{REF(NEW)}}}{R_{\text{SENSE}}}$$

При таком подходе не требуются выводы SS или TRK. Вывод FB будет стабилизирован на уровне 600 мВ (но напряжение на R_{SENSE} стабилизируется на уровне $\text{FB}_{\text{REF(NEW)}}$). Это означает, что другие функции чипа (в т.ч. мягкий старт, слежение и выход слежения за уровнем выходного напряжения) будут все же работать нормально.

Недостатком этого метода является то, что смещение между R_{SENSE} и FB во многом зависит от точности

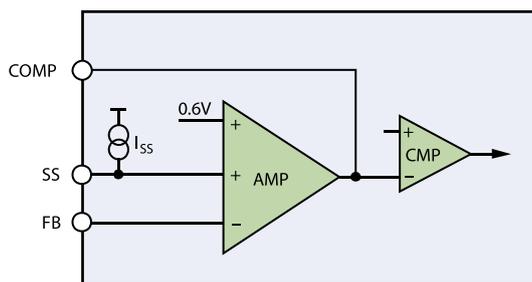


Рис. 6. Использование вывода мягкого старта микросхемы ADP2384

0,6 В — 0,6 В; AMP — усилитель; CMP — компаратор

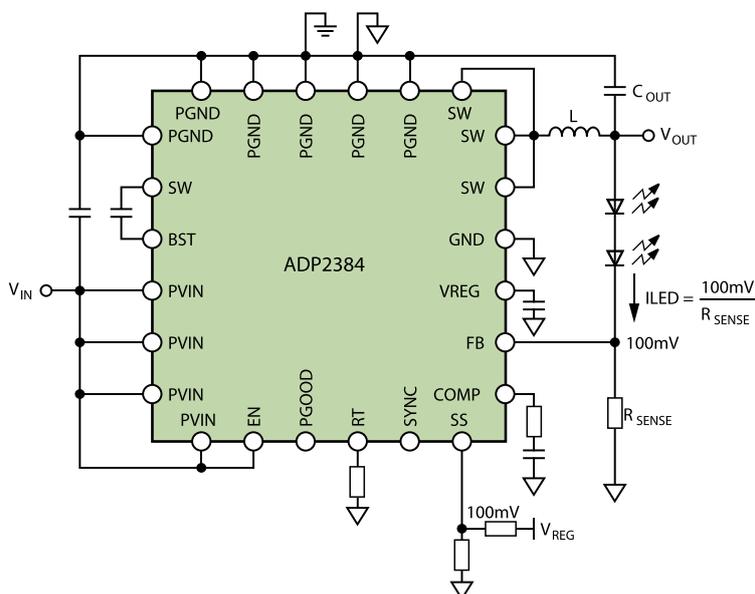


Рис. 7. Использование вывода SS/TRK для уменьшения опорного напряжения на выводе FB

100 мВ — 100 мВ

источника питания. Использование прецизионного источника опорного напряжения, например, такого как ADR5040, было бы идеальным выбором, однако использование опорного напряжения с большими допусками ($\pm 5\%$) привело бы к отклонениям тока светодиода в пределах $\pm 12\%$. В таблице 1 сравниваются два метода: использование выводов SS/TRK и смещение R_{SENSE} .

Еще одним важным условием точной стабилизации тока является корректная разводка сопротивления измерительного резистора на плате. 4-выводной измерительный резистор подходит для этой цели идеально, однако он может быть довольно дорогим. Правильная разводка печатной платы обеспечивает высокую точность, которую можно получить, используя обычный 2-выводной резистор, как показано на рисунке 9.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ СТАБИЛИЗАТОРА

Способ стабилизации тока светодиода с использованием стандартного понижающего стабилизатора вполне очевиден. В примере, приведенном в данной статье, используется микросхема ADP2384. В расширенном варианте этой статьи¹ показан пример с использованием ADP2441 — устройства с меньшим числом выводов и 36-V входным напряжением. В той статье приведены примеры, иллюстрирующие реализацию многих интеллектуальных функций, которые могут быть доступны с использованием специализированных понижающих стабилизаторов для светодиодов, таких как защита от коротков/обрывов светодиодов, защита от коротков/обрывов резистора RSENSE, ШИМ-регулировка яркости, аналоговая регулировка яркости и тепловая защита с адаптивным ограничением тока.

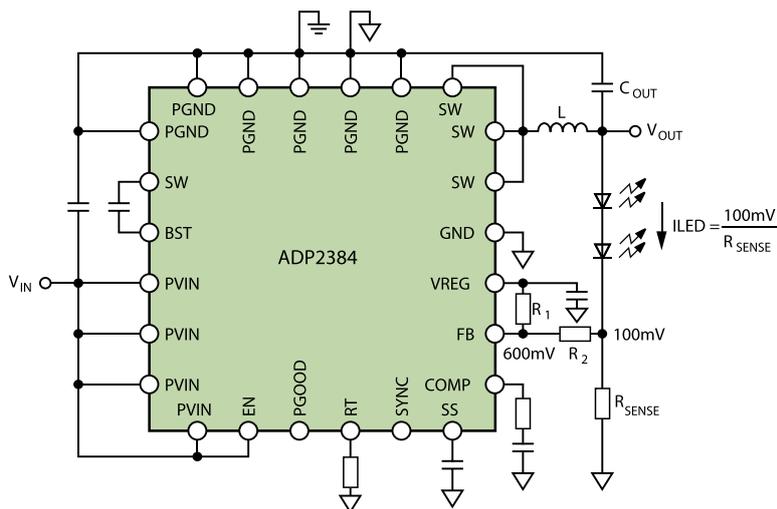


Рис. 8. Смещение напряжения на R_{SENSE}
100 мВ — 100 мВ; 600 мВ — 600 мВ

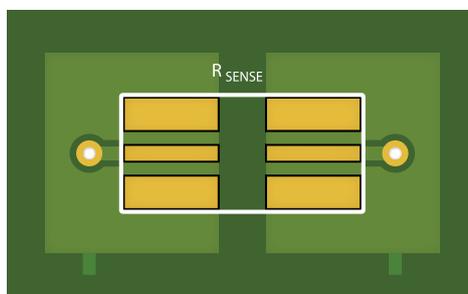


Рис. 9. Рекомендуемая разводка резистора R_{SENSE} на печатной плате

РЕГУЛИРОВКА ЯРКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ШИМ И АНАЛОГОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ключевым требованием к интеллектуальным драйверам является регулировка яркости светодиодов путем уменьшения интенсивности их свечения с использованием ШИМ-метода и метода аналоговой регулировки. ШИМ-регулировка управляет током светодиода путем изменения рабочего цикла импульсов токов.

Если частота выше 120 Гц, человеческий глаз усредняет эти импульсы и воспринимает усредненную освещенность. Аналоговая регулировка изменяет постоянную величину тока светодиода.

ШИМ-регулировка может быть реализована путем открывания и закрывания NMOS-транзистора, включенного последовательно с R_{SENSE} . Такие уровни тока потребовали бы применения мощного переключающего

Таблица 1. Сравнение двух методов: использования выводов SS/TRK и смещения R_{SENSE}

Вариант 1: Использование выводов SS/TRK для снижения опорного напряжения на FB	Вариант 2: Напряжение смещения на R_{SENSE}
Изменение напряжения питания в пределах $\pm 5\%$ дает отклонение тока I_{LED} в пределах $\pm 5\%$. На это не влияет напряжение V_{SENSE} , поэтому этот метод обеспечивает минимальную рассеиваемую на R_{SENSE} мощность.	Изменение напряжения питания в пределах $\pm 5\%$ дает отклонение тока I_{LED} в пределах $\pm 12\%$. Более высокая величина напряжения V_{SENSE} улучшает эту ситуацию.
Очень хорошая защита от обрывов/закоротов светодиода. Напряжение FB_OVP не приводит к неустойчивой работе защиты от обрывов в цепи. Ток светодиода ограничен катушкой индуктивности и скоростью работы цепи управления.	Очень хорошая защита от обрывов светодиода. Кроме того, некоторые микросхемы имеют другое опорное напряжение на FB (FB_OVP), которое немедленно блокирует переключение, если напряжение FB повышается на 50—100 мВ выше номинального. Это гарантирует максимальную перегрузочную способность светодиода по току во время периодических отказов.
Напряжение PGOOD всегда остается низким.	Поскольку на выводе FB напряжение стабилизируется на уровне 600 мВ, вывод PGOOD функционирует нормально.
При уменьшении напряжения на выводе SS/TRK ниже нормальной величины, режимы отказа могут работать некорректно.	Все режимы отказа работают нормально.

¹ См. http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/Convert-a-Buck-Regulator-Into-a-Smart-LED-Driver-MS-2437.pdf (прим. переводчика)

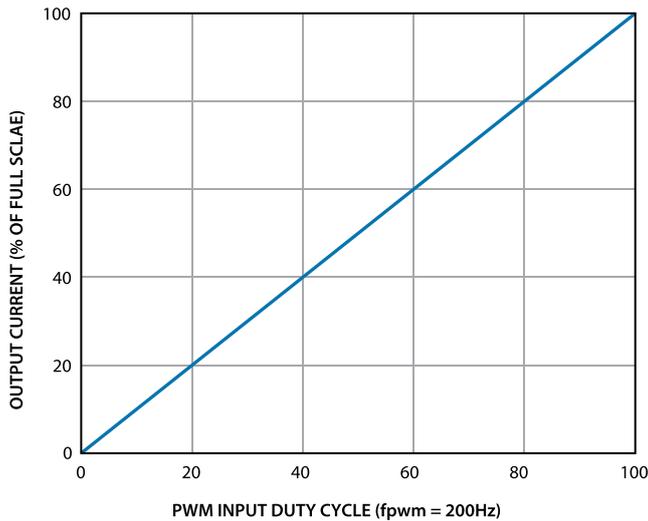


Рис. 10. Линейная характеристика при ШИМ-регуливке с помощью ADP2384 — зависимость выходного тока от рабочего цикла на частоте 200 Гц

Output current (% OF FULL SCLAE) — выходной ток (% от полной шкалы); PWM input duty cycle (fpwm = 200 Hz) — рабочий цикл ШИМ-входа (fpwm = 200 Гц)

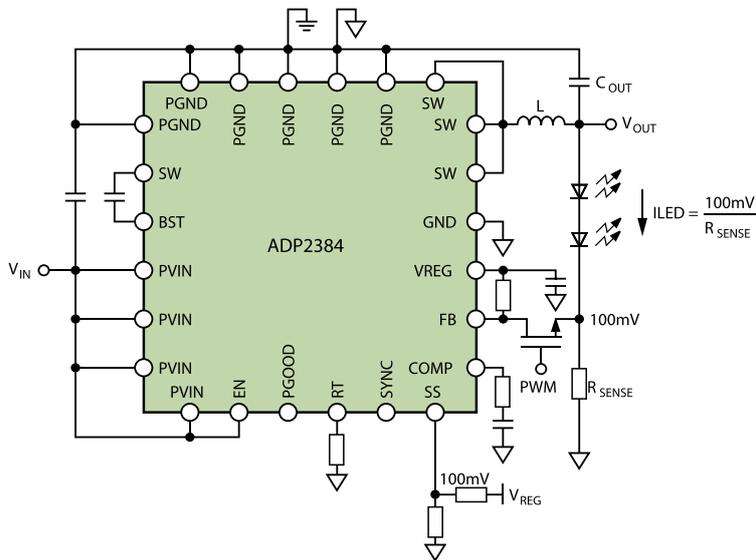


Рис. 11. ШИМ-регуливка яркости с помощью ADP2384

100 mV — 100 мВ

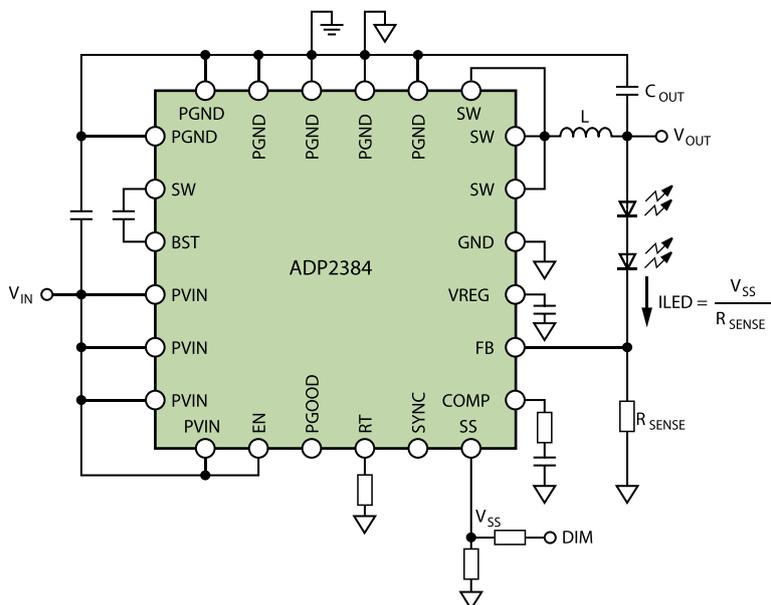


Рис. 12. Схема аналоговой регуливки яркости

устройства, но его использование привело бы к утрате преимуществ, связанных с более компактными размерами и меньшей стоимостью решения на базе понижающего стабилизатора, содержащего собственные мощные ключи. В качестве альтернативы ШИМ-регуливка может быть выполнена путем быстрого включения и выключения стабилизатора. При низкой частоте ШИМ (<1 кГц), это может обеспечить высокую точность (см. рис. 10).

Как и все понижающие стабилизаторы общего назначения, микросхема ADP2384 не имеет вывода, сигнал с которого можно подать на вход ШИМ-регуливки, но выводом FB можно управлять для разрешения и блокировки переключения. Если напряжение на FB устанавливается в состояние высокого уровня, то напряжение на усилителе ошибки переходит в состояние низкого уровня, и переключение понижающего стабилизатора прекращается. Если вывод FB подсоединить к R_{SENSE} , то возобновляется нормальная стабилизация. Это может быть сделано либо с помощью слабботочного NMOS-транзистора, либо с помощью диода общего назначения. На рисунке 11 показано, как высокий уровень ШИМ-сигнала подключает R_{SENSE} к FB, разрешая стабилизацию светодиода. Низкий уровень ШИМ-сигнала выключает NMOS-транзистор с помощью повышающего резистора, устанавливая на FB высокий уровень напряжения.

ШИМ-регуливка яркости весьма популярна, однако иногда требуется «бесшумная» аналоговая регуливка. Аналоговая регуливка изменяет постоянный ток светодиода, в то время как ШИМ-регуливка прерывает его. Аналоговая регуливка требуется, когда используются два входа регуливки, поскольку использование множества ШИМ-сигналов может привести к возникновению частот биений, которые вызывают фликершум или низкочастотный шум. При использовании понижающего стабилизатора общего назначения, самым простым способом реализации аналоговой регуливки является управление опорным напряжением FB путем регуливки питания схемы опорного напряжения, как показано на рисунке 12.

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА С АДАПТИВНЫМ ОГРАНИЧЕНИЕМ ТОКА

Поскольку срок службы светодиода во многом зависит от рабочей температуры перехода кристалла светодиода, иногда требуется контролировать температуру светодиода



Семейство ИК светодиодов IR OSLO[®] Black

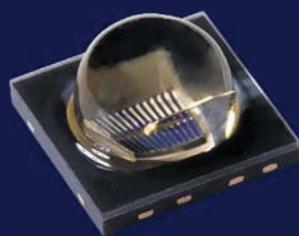
Компактные сверхмощные устройства

ИК светодиоды OSLO[®] Black производства OSRAM Opto Semiconductors на сегодняшний день самые компактные инфракрасные светодиоды с оптической мощностью более 1 Вт. Малые размеры и встроенные линзы создают превосходные возможности для разработки сверхмощных кластеров. ИК светодиоды OSLO[®] Black идеальны для применения в системах видеонаблюдения, ночного видения и системах распознавания автомобильных номеров.

- Угол излучения $\pm 45^\circ$ (возможен вариант $\pm 75^\circ$)
- Площадь кристалла $1 \times 1 \text{ мм}^2$
- Низкое тепловое сопротивление $< 11 \text{ K/W}$
- Импульсный ток до 5 А
- Интервал рабочих температур: от -40 до $+125 \text{ }^\circ\text{C}$
- Подходят для КМОП-сенсоров и камер ПЗС

	SFH 4705S	SFH 4715S	SFH 4725S
Длина волны (нм)	810	850	940
Оптический поток (мВт) при 1 А	1030	1070	980
Интенсивность излучения (мВт/ср) при 1 А	320	500	450
Падение напряжения (В) при 1 А	3,1	2,9	2,75

Заказ бесплатных образцов: os-info@osram.ru



OSRAM
Opto Semiconductors

и реагировать на слишком высокую температуру. Чрезмерно высокая температура может быть вызвана плохим контактом радиатора, необычайно жаркими условиями внешней среды или другими экстремальными условиями. Обычным решением является снижение тока светодиода при превышении температурой некоторого порогового значения (см. рис. 13). Это называют тепловой защитой светодиода с обратной связью или адаптивным ограничением тока.

При таком способе уменьшения яркости ток светодиода поддерживается на максимальном уровне до того момента, когда достигается пороговая температура (T_1), выше которой ток светодиода начинает снижаться при увеличении температуры. Это ограничивает температуру перехода светодиодов и сохраняет их срок службы. Для измерения температуры радиаторов светодиодов обычно используются недорогие резисторы с отрицательным температурным коэффициентом (NTC). При небольшой модификации схемы аналоговой регулировки яркости с помощью резисторов с отрицательным температурным коэффициентом можно обеспечить простой способ контроля тока светодиода. Если для управления опорным напряжением на FB используется вывод SS/TRK, то резистор с отрицательным температурным коэффициентом можно включить параллельно источнику опорного напряжения (см. рис. 14).

Поскольку температура радиатора возрастает, сопротивление NTC-резистора падает. NTC-резистор формирует резистивный делитель с R_3 . Если напряжение на делителе выше опорного напряжения, то формируется максимальный ток. Если напряжение на NTC-резисторе падает ниже опорного напряжения, то опорное напряжение на FB и, следовательно, ток светодиода, начинают уменьшаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в статье подходы следует использовать в качестве

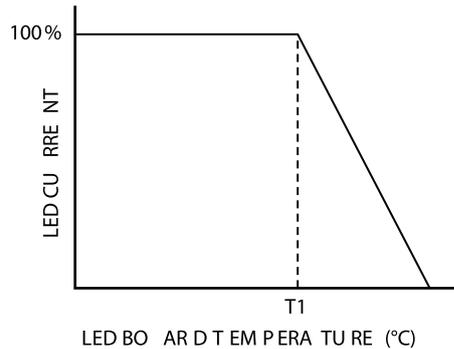


Рис. 13. Кривая изменения тока при использовании тепловой защиты светодиода с адаптивным ограничением тока

LED current — ток светодиода; LED board temperature (°C) — температура платы со светодиодом, °C

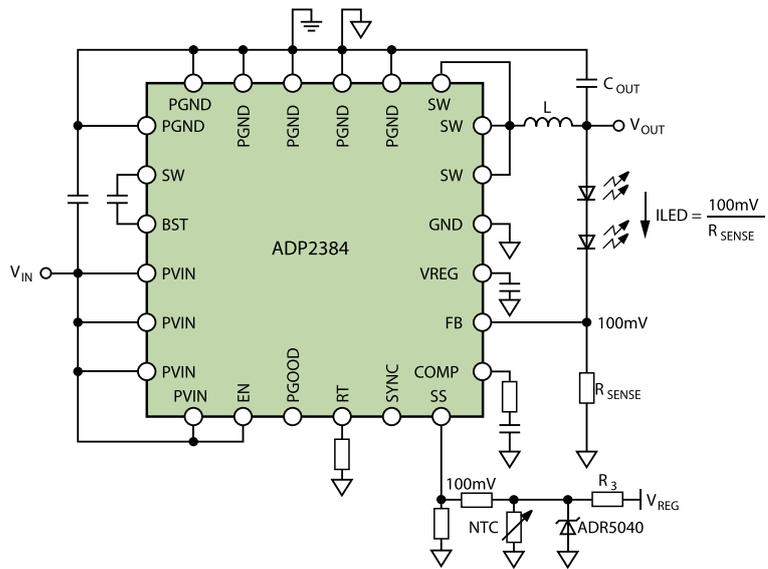


Рис. 14. Тепловая защита светодиода при использовании вывода SS/TRK

100 mV — 100 mB

рекомендаций при реализации различных функций светодиодов на базе стандартного понижающего стабилизатора. Но поскольку эти функции не включены в перечень специфицированных приложений микросхем понижающего преобразователя, лучше всего уточнить у производителя конкретного полупроводникового прибора, способна ли та или иная микросхема работать в таких режимах. Чтобы получить дополни-

тельную информацию о микросхеме ADP2384 и других понижающих стабилизаторах, таких как ADP2441, или о демонстрационных платах для проверки решений по управлению светодиодами, посетите сайт: www.analog.com/lighting.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jon Kraft. Convert a Buck Regulator into a Smart LED Driver, Including Dimming// www.analog.com/analogdialogue.

ГРАНИТ-ВТ

Электронная аппаратура для ответственных применений

- Серийное производство электронных модулей, в т.ч. с приемкой "5"
- Париленовое влагозащитное покрытие
- Контрактное производство высокотехнологичной электроники, в т.ч. BGA с рентген-контролем
- Контрактная разработка и инженерное сопровождение

Интерактивный конструктор электронных приборов на сайте www.granit-vt.ru

ЗАО "ГРАНИТ-ВТ" т./ф.: 8 (812) 274-04-48, e-mail: mail@granit-vt.com, www.granit-vt.ru 191014, Санкт-Петербург, ул. Госпитальная 3

Методы формирования положительного и отрицательного выходного напряжений

РИЧ НОВАКОВСКИ (RICH NOWAKOWSKI), менеджер по маркетингу продукции, Texas Instruments

Последние достижения в разработке DC/DC-преобразователей позволяют создавать биполярные источники питания. В этой статье рассматриваются несколько типов цифровых и модульных реализаций выходного отрицательного и биполярного напряжений для питания биполярных усилителей, аналоговых датчиков, преобразователей данных и звуковых усилителей. Анализируются ключевые факторы систем — сложность, количество компонентов, стоимость и рабочие параметры. Все рассматриваемые схемотехнические решения реализованы на базе силовых ИС компании Texas Instruments, но в большинстве случаев аналогичные схемы можно реализовать на базе ИС других производителей.

ФОРМИРОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Во многих случаях разработчику приходится формировать отрицательное напряжение отдельно, например, в таких популярных преобразователях как инвертирующий преобразователь с подкачкой заряда, инвертирующий понижающе-повышающий импульсный преобразователь и обратноходовой преобразователь. Отрицательное выходное напряжение создается из положительного входного напряжения.

ИНВЕРТИРУЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ПОДКАЧКОЙ ЗАРЯДА

Импульсные преобразователи с подкачкой заряда, в которых нет индуктивных элементов, являются привлекательной альтернативой для импульсных регуляторов с индуктивными элементами, традиционно используемых для преобразования положительного напряжения в отрицательное. В преобразователях с подкачкой заряда инвертирование приложенного входного напряже-

ния можно реализовать схемотехнически.

Для примера на рисунке 1 показана ИС TPS60400, внутренние ключи которой сконфигурированы так, что вывод C_{FLY+} соединен с землей, а вывод C_{FLY-} — с выходом. В результате выходное напряжение имеет полярность, противоположную полярности входного напряжения. Однако в этой схеме выходное напряжение является нерегулируемым, а его величина из-за внутренних потерь на переключение оказывается меньше входного напряжения.

Применение преобразователей с подкачкой заряда для получения отрицательного выходного напряжения имеет ряд преимуществ по сравнению с преобразователями с индукционными элементами. К этим преимуществам относятся меньшее количество компонентов, меньшее электромагнитное излучение, меньшие габариты устройства и стоимость, в первую очередь, благодаря отсутствию катушки индуктивности. С другой стороны, такое решение имеет ограничения по величине выходного тока и напряжений.

ПОНИЖАЮЩЕ-ПОВЫШАЮЩИЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Для формирования отрицательного выходного напряжения понижающий импульсный регулятор преобразуется в понижающе-повышающий инвертор напряжения. Для этого в несинхронную понижающую схему устанавливается катушка индуктивности и ограничительный диод, а также изменяется полярность выходного конденсатора [1].

На рисунке 2 показан пример реализации понижающе-повышающего инвертора напряжения на основе понижающего 3-A преобразователя TPS5430 с входным напряжением 36 В. На вывод заземления преобразователя подается напряжение $-V_{OUT}$, а положительный вывод выходного конденсатора соединяется с землей. Выходное напряжение (V_{OUT}) устанавливается равным -5 В и может регулироваться с помощью делителя напряжения на резисторах R1 и R2.

Преобразование понижающего регулятора в понижающе-повышающий инвертер напряжения вносит некоторые коррективы, которые необходимо учитывать при разработке схем. Во-первых, появляются ограничения по входному напряжению. Напряжение между выводом устройства V_{IN} и выводом GND теперь равно V_{IN} минус $(-V_{OUT})$ вместо V_{IN} , как это было в понижающем преобразователе. Во-вторых, поскольку пиковый ток в катушке индуктивности не может быть больше номинального тока через ключи понижающего регулятора, величина выходного тока снижается на коэффициент $(1 - D)$, где D — коэффициент заполнения рабочего цикла. Коэффициент D для понижающе-повышающего инвер-

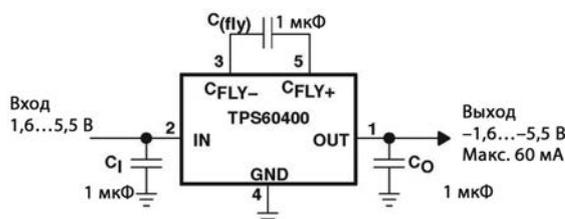


Рис. 1. Формирование отрицательного выходного напряжения с помощью преобразователя с подкачкой заряда

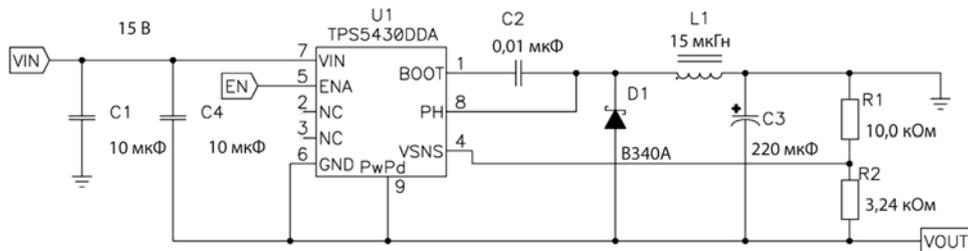


Рис. 2. Схема понижающе-повышающего инвертора напряжения на основе понижающего преобразователя

тера напряжения рассчитывается с помощью уравнения (1). Он отличается от коэффициента рабочего цикла для понижающего преобразователя, рассчитываемого по уравнению (2):

$$D_{\text{BUCK/BOOST}} = -V_{\text{OUT}} / (-V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}}), \quad (1)$$

$$D_{\text{BUCK}} = V_{\text{OUT}} / V_{\text{IN}}. \quad (2)$$

В-третьих, появляются ограничения по минимальному входному напряжению, связанные с работой схемы блокировки при низком напряжении (UVLO) DC/DC-преобразователя. Схема UVLO связана с выводом заземления понижающего регулятора, на который теперь подается напряжение VOUT. При включении устройства выходное напряжение равно 0 В, а минимальное входное напряжение, необходимое для запуска, должно быть не ниже уровня UVLO. Однако из-за низкого напряжения на входе схема UVLO не может остановить преобразователь после его запуска. И, наконец, понижающе-повышающий инвертор напряжения по-разному работает в режиме непрерывных токов (DCM) и в режиме прерывистых токов (CCM). Схема, устойчиво работающая в режиме CCM, при изменении нагрузки может оказаться неустойчивой при работе в режиме DCM [2].

Понижающе-повышающий инвертор напряжения, реализованный на базе понижающего регулятора, обладает рядом преимуществ, к которым относятся высокая эффективность и универсальность с точки зрения выходных напряжений и токов. При использовании импульсных регуляторов со встроенными MOSFET и внутренними цепями компенсации количество внешних элементов остается небольшим. Однако для неопытных разработчиков проектирование таких схем может оказаться довольно сложным, поскольку требует тщательного изучения документации производителей, например справочных данных и рекомендаций по применению, использования макетных модулей и инструментов проектировщика и т.д.

БИПОЛЯРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СВЯЗЬЮ

Биполярный преобразователь с трансформаторной связью, реализованный на основе понижающе-повышающего инвертора, выдает как положительные, так и отрицательные выходные напряжения. Отрицательное выходное напряжение реализуется в нем тем же самым способом, что и в схеме на рисунке 2. Отметим, что DC/DC-преобразователь можно сконфигурировать так, чтобы регулировать положительное напряжение, а вторичную обмотку использовать для регулирования отрицательного выходного напряжения.

При использовании трансформатора для формирования положительного напряжения во вторичной цепи из отрицательного напряжения в его первичной цепи первичная и вторичная обмотки должны иметь противоположную направленность. На рисунке 3 показана схема преобразователя с трансформаторной связью с двумя выходами, обеспечивающими напряжение ± 18 В при токе до 100 мА. В данном приложении напряжение -18 В снимается относительно земли преобразователя [3].

Изменяя сопротивления резистивного делителя преобразователя, можно получить другие выходные напряжения. Схема на рисунке 3 обеспечивает генерацию положительного и отрицательного напряжений при токе до 100 мА.

Основу схемы составляет трансформатор (Lo) и несинхронный понижающий преобразователь. Существует несколько производителей, выпускающих трансформаторы нескольких стандартов, с разными токами насыщения и различных размеров. Преобразователь использует внешнюю цепь компенсации, чтобы обеспечить устойчивую работу, и встроенный силовой MOSFET, что позволяет уменьшить количество компонентов.

Помимо трансформатора и DC/DC-преобразователя в схему входят и другие важные внешние элементы — два силовых диода и керамические входные и выходные конденсаторы. К другим элементам относятся небольшие резисторы и конденсаторы, формирующие DC/DC-преобразователь. В этой схеме нет гальванической развязки между входом и выходом.

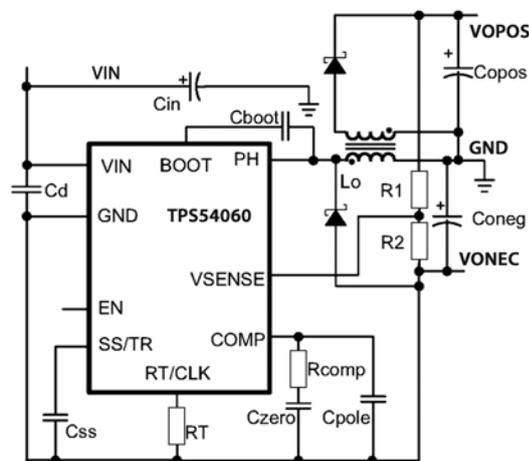


Рис. 3. Биполярный преобразователь с трансформаторной связью, реализованный на основе понижающего регулятора

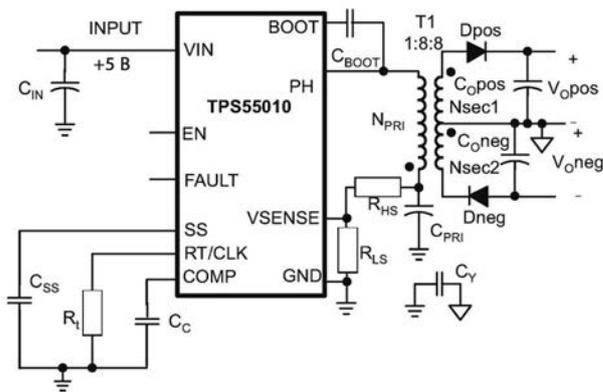


Рис. 4. Изолированный обратноходовый понижающий биполярный преобразователь

**ИЗОЛИРОВАННЫЙ
ОБРАТНОХОДОВОЙ
ПОНИЖАЮЩИЙ БИПОЛЯРНЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**

Обратноходовый понижающий преобразователь, являющийся разновидностью обратноходового преобразователя, состоит из силового каскада с нижними и верхними силовыми MOSFET, трансформатора, конденсатора первичной цепи, диода и выходного конденсатора [4].

Напряжение на конденсаторе первичной цепи регулируется с помощью контроллера и передается на выход через трансформатор. Преобразователь называется обратноходовым понижающим преобразователем, поскольку его трансформатор подсоединен как в обратноходовом преобразователе, а соотношение между входным и выходным напряжениями в нем соответствует преобразователю на основе

понижающего регулятора. Выходное напряжение обратноходового понижающего преобразователя определяется соотношением витков обмоток трансформатора и сопротивлениями резистивного делителя, подключенного к выводу VSENSE, что обеспечивает выбор выходных напряжений в широком диапазоне значений.

Положительные и отрицательные выходные напряжения реализуются с помощью трансформатора с несколькими обмотками. На рисунке 4 показан пример такого преобразователя, созданного на основе ИС TPS55010 и трансформатора с индуктивностью 2 мкГн с соотношением витков 1:8:8, который обеспечивает выходные напряжения ± 15 В при токе 40 мА и работает от входного источника 5 В. Точность регулировки обоих напряжений, в основном, зависит от потерь в трансформаторе, нижнем MOSFET и диоде, поэтому с ростом выходного тока увеличивается падение выходного напряжения, что является причиной ограничений по максимально выходной мощности при заданном значении выходного напряжения.

К достоинствам обратноходового понижающего преобразователя относится гальваническая развязка между входом и выходом, реализованная с помощью трансформатора, а также меньшая стоимость благодаря отсутствию оптопары в контуре обратной связи с первичной цепью.

**СИЛОВЫЕ МОДУЛИ С
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ И
ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ВЫХОДНЫМИ
НАПРЯЖЕНИЯМИ И БОЛЬШИМИ
ТОКАМИ**

Успехи полупроводниковой и магнитной технологий, а также достижения в разработке новых методов монтажа позволили наладить серийный выпуск небольших силовых модулей с отрицательными выходными напряжениями. Оптимально построенные силовые модули, объединяющие в себе индуктивный элемент и другие пассивные компоненты, позволяют упростить топологию плат, снизить количество внешних компонентов и сократить место на печатной плате.

На рисунке 5 показан силовой модуль с отрицательным выходным напряжением, включенный по схеме понижающе-повышающего инвертера. Работа такого модуля очень напоминает работу понижающе-повышающего инвертера.

Удобный в работе биполярный преобразователь с большим выходным током создается путем объединения двух силовых модулей с

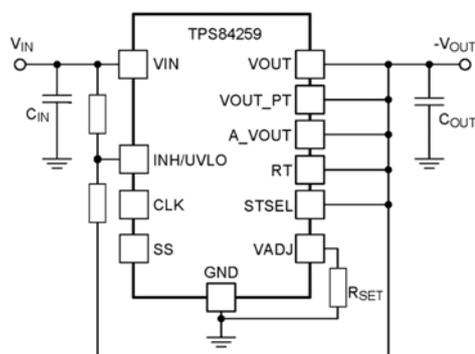


Рис. 5. Силовой модуль с отрицательным выходным напряжением

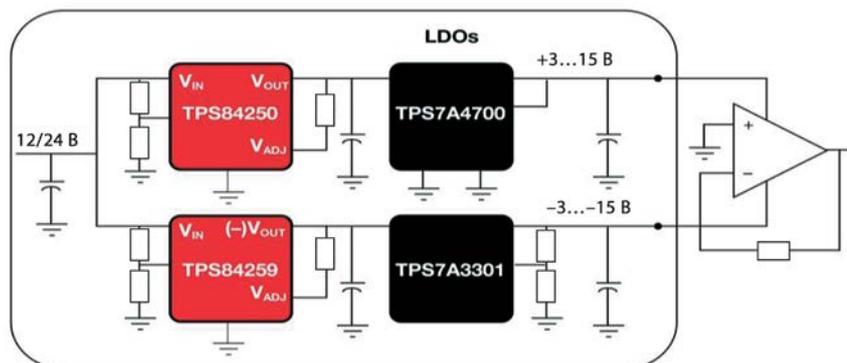


Рис. 6. Биполярный преобразователь из двух силовых модулей

одинаковым входным напряжением. В нашем примере использовался модуль TPS84259 для формирования отрицательного напряжения и TPS84250 (понижающий силовой модуль) — для положительного выходного напряжения.

Мы выбрали эти модули, поскольку они имеют небольшие корпуса 9×11×2,8 мм и занимают на плате площадь всего лишь 200 мм², не считая входного и выходного конденсаторов. На рисунке 6 показан пример преобразователя на базе маломощных регуляторов, которые обеспечивают низкие пульсации и высокий коэффициент подавления пульсаций источника питания (PSRR). Выходной ток ограничен максимальной выходной мощностью модуля, малым предельным выходным током регуляторов и требованиями к тепловым режимам плат. В данном примере предельный ток регуляторов равен 1 А.

Этот силовой модуль отличается простотой, поскольку содержит лишь несколько внешних элементов, и способностью выдерживать высокий ток. Следует заметить, что выходные напряжения силовых модулей регулируются независимо друг от друга. Если линейный регулятор находится за пределами контура обратной связи силового модуля, он не влияет на устойчивость работы модуля.

ВЫВОДЫ

Во многих случаях в системах уже имеется источник подходящего положительного напряжения, и требуется лишь создать источник отрицательного напряжения. В статье рассмотрены три способа формирования отрицательных выходных напряжений. Преобразователь напряжения с подкачкой заряда (безындуктивный) характеризуется малыми размерами, простотой, низкой стоимостью и малым количеством внешних элементов, но его выходной ток ограничен диапазоном 50–100 мА. Если требуются боль-

Таблица 1. Сравнение характеристик трех биполярных решений

	Преобразователь с трансформаторной связью	Понижающий обратногоходовый преобразователь	Силовые биполярные модули
Сложность	одинаковая со случаем использования понижающего обратногоходового преобразователя	одинаковая со случаем использования преобразователя с трансформаторной связью	минимальная
Регулирование напряжения	регулируется только отрицательное напряжение	регулируется только контур обратной связи в первичной цепи. VOUT зависит от потерь на диоде	регулируются и положительное, и отрицательное напряжения
Количество компонентов	одинаковое со случаем использования понижающего обратногоходового преобразователя	одинаковое со случаем использования преобразователя с трансформаторной связью	наименьшее количество внешних компонентов
Выходная мощность	максимальная — могут использоваться внешние MOSFET	< 5 Вт	зависит от номинальной мощности модуля
Гальваническая развязка	нет	есть	нет
Стоимость	одинаковая со случаем использования понижающего обратногоходового преобразователя	одинаковая со случаем использования преобразователя с трансформаторной связью	трансформатор не нужен, но требуются два модуля

шие выходные токи, понижающий DC/DC-преобразователь перестраивается в понижающе-повышающий инвертор. Однако такой способ значительно усложняет и схему, и ее монтаж за счет увеличения числа внешних элементов.

В статье также рассмотрен преобразователь со встроенными MOSFET, однако DC/DC-контроллер с внешними MOSFET, который обеспечивает высокий выходной ток, требует более тщательного проектирования. Силовой модуль является наиболее простым способом получения отрицательного выходного напряжения, требуя всего лишь нескольких внешних компонентов для монтажа в оптимизированный корпус, но характеризуется довольно скромной мощностью. Однако такое решение — не очень высокая цена за интеграцию компонентов и экономию места на плате.

Если требуется получить и положительные, и отрицательные напряжения, разработчики могут воспользоваться цифровым DC/DC-преобразователем с трансформаторной связью, понижающим обратногоходовым преобразователем или силовыми биполярными модулями. В таблице 1 сравниваются характеристики трех биполярных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. John Tucker. Using a buck converter in an inverting buck/boost topology//Analog Applications Journal. Texas Instruments. 4Q2007.
2. Lloyd Dixon. The Right-Half-Plane-Zero, a Simplified Explanation. SLUP084//Seminar Topic 500 DRA. Texas Instruments. 2001.
3. TPS54060EVM-590 100 mA, Split Rail SWIFT Regulator Evaluation Module//SLVU374. Texas Instruments. May 2010.
4. 2.95V to 6V Input, 2W, Isolated DC/DC Converter with Integrated FETS//SLVSAV0A. Texas Instruments. June 2011.
5. Datasheets TPS5430, TPS54060, TPS60400, and TPS55010.



Бессиликоновая теплопроводная паста и клей от

Arctic Silver

ОСТАНОВИМ ПЕРЕГРЕВ КОМПОНЕНТОВ!



**ТЕПЛОПРОВОДНЫЕ ПАСТЫ ОТ ARCTIC SILVER
ГАРАНТИРУЮТ ДЛИТЕЛЬНУЮ И НАДЕЖНУЮ
РАБОТУ ВАШЕГО ИЗДЕЛИЯ**

Основные преимущества:

- отсутствие силикона в составе пасты и клея
- превосходная теплопроводность > 4.0 W/mK
- высокая диэлектрическая прочность
- соответствие RoHS

<p>САНКТ-ПЕТЕРБУРГ Россия, 199178, С.-Петербург, а/я 101, ВО, 10-я линия, д.39 Тел./факс +7(812) 335-00-65</p>	<p>МОСКВА Россия, 115054, Москва, Озерковская набережная, д.22/24, оф. 14 Тел./факс +7(495) 953-24-71</p>	<p>ВОРОНЕЖ Россия, 394063, Воронеж, Ленинский проспект, 160а Тел./факс +7(473) 239-44-46</p>
---	--	---

www.e-neon.ru

ВСЕГДА НА ВЫСОТЕ 

МАКС

2013

**МОСКВА
ЖУКОВСКИЙ
27.08 – 01.09**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ
САЛОН**



Международный авиационно-космический салон МАКС заслуженно занял ведущее место в ряду крупнейших мировых авиа-форумов. Главная цель проведения МАКС – демонстрация российских высоких технологий и открытости внутреннего рынка России для совместных проектов с зарубежными партнерами.

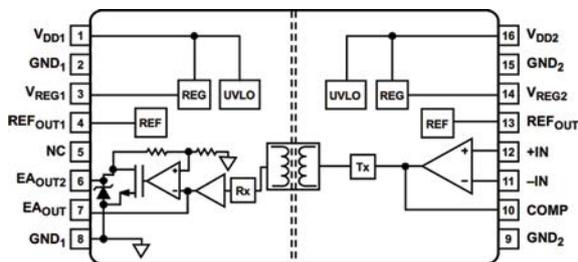
WWW.AVIASALON.COM

Новые компоненты на российском рынке

АНАЛОГОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Изолированные усилители сигнала ошибки ADUM3190 и ADUM4190 от Analog Devices

Изолированные усилители сигнала ошибки ADUM3190 и ADUM4190, предлагаемые компанией Analog Devices, применяются в импульсных источниках питания, инверторах, источниках бесперебойного питания, в системах мониторинга напряжений, то есть там, где необходимо определить отклонение проверяемого сигнала от опорного. В отличие от усилителей с оптронами, которые имеют нестабильный коэффициент передачи, у ADuM3190 и ADuM4190 коэффициент передачи не меняется не только во времени, но и в широком диапазоне рабочих температур: от -40 до 125°C. Использование изолированных усилителей компании Analog Devices позволяет улучшить переходную характеристику, стабильность, а так же снизить рассеиваемую мощность по сравнению с устройствами на оптронах.



В состав ADUM3190 и ADuM4190 входят широкополосный операционный усилитель, прецизионный источник опорного напряжения 1,225 В, а также схема управления и защиты от защелкивания при низких напряжениях питания. Выход EAout усилителей ошибки позволяет получить сигнал в диапазоне от 0,4 В до 2,5 В. Для схем, где требуется более широкий диапазон напряжений, предусмотрен выход EAout2, на котором можно получить сигнал в диапазоне от 0,6 В до 4,8 В.

ADUM3190 обеспечивает изоляцию напряжения до 2,5 кВ, а ADUM4190 до 5 кВ.

Основные технические характеристики.

- Нестабильность: по времени: 0,5%, по температуре: 1%.
- Низкий ток потребления: менее 7 мА.
- Широкий диапазон питающих напряжений: от 3 до 20 В.
- Полоса пропускания: 400 кГц.
- Напряжение изоляции: для ADUM3190: 2,5 кВ, для ADUM4190: 5 кВ.
- Диапазон входного синфазного напряжения: 0,35...1,5 В.
- Широкий температурный диапазон: -40...125 °C.

Заказать образцы ADuM3190 и ADuM4190 и получить более подробную техническую информацию можно, обратившись в любой из офисов компании ЭЛТЕХ или по электронной почте.

Analog Devices Inc.

www.analog.com

Дополнительная информация:

см. ЭЛТЕХ, ООО

ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ



Промышленные TFT LCD-панели NLT Technologies с температурой хранения от -40 до +80°C

Компания ЭЛТЕХ совместно с NLT Technologies сообщают об

успешной сертификации серии TFT LCD-модулей промышленного применения на возможность хранения их при температуре от -40 до 80°C и рабочим температурным диапазоном от -30 до 80°C.

По сравнению с другими фирмами-производителями LCD-дисплеев промышленного применения, NLT Technologies, первой в мире, провела сертификацию на возможность хранения TFT LCD-панелей при температуре от -40°C.

Компания ЭЛТЕХ предлагает широкий ассортимент промышленных TFT LCD-панелей. Можно выбрать панели с повышенной яркостью (F), антибликовым покрытием (D) или с покрытием, минимизирующим отражение света (C). Уже сейчас можно оформить заказ на панели, перечисленные в таблице.

Наименование	Диагональ, дюйм	Углы обзора, град	Интерфейс
NL6448BC20-30/30D	6,5	80/80/80/80	LVDS
NL6448BC20-30C/30F	6,5	80/80/80/80	LVDS
NL6448BC20-35/35D	6,5	80/80/80/80	CMOS
NL6448BC20-35C/35F	6,5	80/80/80/80	CMOS
NL6448BC26-26/26D	8,4	80/80/80/80	CMOS
NL6448BC26-26C/26F	8,4	80/80/80/80	CMOS
NL6448BC26-27/27D	8,4	80/80/80/80	LVDS
NL6448BC26-27C/27F	8,4	80/80/80/80	LVDS
NL8060BC21-11/11D	8,4	80/80/80/80	LVDS
NL8060BC21-11C/11F	8,4	80/80/80/80	LVDS
NL6448BC33-70/70D	10,4	80/80/80/80	CMOS
NL6448BC33-70C/70F	10,4	80/80/80/80	CMOS
NL6448BC33-71/71D	10,4	80/80/80/80	LVDS
NL6448BC33-71C/71F	10,4	80/80/80/80	LVDS
NL8060BC26-35/35D	10,4	80/80/80/80	LVDS
NL8060BC26-35C/35F	10,4	80/80/80/80	LVDS
NL10276BC20-18/18D	10,4	80/80/80/80	LVDS
NL10276BC20-18C/18F	10,4	80/80/80/80	LVDS
NL8060BC31-50F	12,1	80/80/80/80	CMOS

Возможность хранения TFT LCD-панелей при столь низкой температуре окружающей среды, позволяет применять данные модули в аппаратуре, которая используется в условиях средней полосы и севера России.

Сферы применения: промышленные датчики и индикаторы для всепогодного применения; индикаторы устройств, используемых при сверхнизких температурах окружающей среды.

NLT Technologies

www.nlt-technologies.co.jp

Дополнительная информация:

см. ЭЛТЕХ, ООО

ENA-7180-25/ ENA-7180-61



Промышленные серверы сетевой безопасности для стоечного монтажа 1U от Avalue

Компания Avalue представила серию промышленных серверов сетевой безопасности ENA-7180, предназначенную для

малого и среднего бизнеса, а также промышленной автоматизации и встраиваемых приложений.

Промышленные серверы серии ENA-7180 имеют компактный корпус высотой 43 мм (1U) и предназначены для монтажа в 19" стойку. Серверы могут быть использованы для организации VPN, брандмауэров, антивирусной защиты, фильтрации спама и других приложений сетевой безопасности.

Отличительной чертой серверов серии ENA-7180 является длительный срок службы, гарантируемый производителем — не менее 3~5 лет.

Серверы серии ENA-7180 представлены двумя моделями: ENA-7180-25 и ENA-7180-61, построенными на базе процессоров последнего поколения Intel® D2550 Dual Core и Intel Core™ i7/i5/i3, соответственно.

Основные технические характеристики промышленного сервера ENA-7180-25.

- Процессор Intel® D2550 Dual Core, 1,86 ГГц;
- Возможность установки до 4 Гб оперативной памяти DDR3 800/1066 МГц;
- Сетевые интерфейсы: 4x Gb Ethernet (LAN), поддержка LAN Bypass;
- Отсеки для установки накопителей: 1 x 3.5" HDD, 2 x 2.5" HDD;
- Интерфейсы 1x COM, 2x USB 2.0;
- Блок питания ATX 65 Вт;
- Размеры (мм): 430x300x43;
- Возможность подключения ЖКД 2 x 16 символов по интерфейсу PIO (опционально).

Основные технические характеристики промышленного сервера ENA-7180-61.

- Процессоры Intel® Sandy Bridge/ Ivy Bridge Core™ i7/i5/i3;
- Возможность установки до 16 Гб оперативной памяти DDR3 1066/1333 МГц;
- Сетевые интерфейсы: 6x Gb Ethernet (LAN), поддержка LAN Bypass;
- Отсеки для установки накопителей: 1 x 3.5" HDD;
- Интерфейсы 1 x COM, 2 x USB 2.0
- Блок питания ATX 300 Вт;
- Размеры (мм): 430 x 406 x 43;
- Возможность подключения ЖКД 2 x 16 символов по интерфейсу PIO (опционально).

Более подробную информацию Вы можете узнать, обратившись в любой из офисов компании ЭЛТЕХ или написав по электронной почте.

Avalue

www.avalue.com

*Дополнительная информация:
см. ЭЛТЕХ, ООО*

«Скоростной CompactPCI» — инновационный подход при построении высокоскоростных встраиваемых систем

Компания «РТСофт» и холдинг Kontron объявляют о новой инициативе в области встраиваемых компьютерных технологий — «Скоростной CompactPCI» и выводе на рынок России и СНГ ряда новейших CompactPCI-продуктов. В рамках данной инициативы поддерживаются два стандарта высокоскоростных последовательных соединений: CompactPCI Serial (PICMG S.0) для модулей формата 3U с интерфейсами PCIe, Gigabit Ethernet, USB и SATA на объединительной магистрали и CompactPCI Serial Mesh (на основе спецификации PICMG 2.20) для модулей формата 6U с интерфейсом 10 Gigabit Ethernet на объединительной магистрали. «Скоростной CompactPCI» — это новый подход при построении высокоскоростных встраиваемых систем, который максимально продлит применение шинной архитектуры CompactPCI и приведет к выпуску нового поколения CompactPCI-продуктов.

В числе продуктовых новинок 3U CompactPCI Serial — процессорный модуль CPS3003-SA с процессором Intel Core i7 3-го поколения, модуль-носитель для жестких дисков CPS3101, модуль-носитель стандартных мезонинов XMC CPS3105, а также сетевые модули CPS3402 (2 x 10 Gigabit Ethernet) и CPS3410 (4x1 Gigabit Ethernet). Формат 6U CompactPCI Serial Mesh представлен процессорным модулем CP6004X-SA с процессором Intel Core i7 3-го поколения и высокоскоростной системной платформой CP-RAPID3, имеющей объединительную магистраль с топологией Full Mesh для 10 Gigabit Ethernet и PCIe.

Помимо стандартных продуктов, клиенты Kontron и «РТСофт» могут воспользоваться комплексом услуг в области системной интеграции. Инженерам-разработчикам достаточно сообщить прикладные требования к аппаратному обеспечению. В соответствии с желанием заказчика такие модульные системы могут поставляться как интегрированное платформенное решение, включая полный набор необходимых драйверов. В качестве шасси «РТСофт» и Kontron используют корпуса ведущих отраслевых производителей, а также могут разработать заказное решение.

Подробную информацию о новейших высокоскоростных 3U и 6U CPIC продуктах можно получить в офисах компании «РТСофт», стратегического партнера международного холдинга Kontron в России и странах СНГ.

Kontron

www.kontron.com

*Дополнительная информация:
см. «РТСофт», ЗАО*

RTX64 2013 — первая 64-битная версия расширения реального времени RTX для Windows

Компания IntervalZero, официальным представителем которой в России является ЗАО «РТСофт», объявляет о выпуске RTX64 2013 — первой 64-разрядной версии лидирующего на мировом рынке продукта, превращающего ОС Windows в систему «жесткого» реального времени. RTX64 2013 является программным расширением реального времени (RTX — Real Time eXtension) с поддержкой симметричной мультипроцессорной обработки (SMP), позволяющим в полном объеме воспользоваться преимуществами 64-битной адресации памяти и высокой производительности современных архитектур.

RTX64 2013 поддерживает 64-разрядные версии ОС Windows 7 с пакетом обновления SP1, а также ОС Windows Embedded Standard 7 с пакетом обновления SP1.

Расширение RTX64 2013 выступает ключевым компонентом платформы RTX RTOS Platform компании IntervalZero, включающей многоядерные x86 и x64 многопроцессорные системы, операционную систему Windows и сети Ethernet реального времени (например, EtherCAT или PROFINET). Данная платформа превосходит по быстродействию широкий спектр аппаратуры реального времени, такой как цифровые сигнальные процессоры (DSP), и при этом существенно сокращает затраты на разработку и стоимость вычислительных систем, требующих детерминизма или «жесткого» реального времени.

Ведущие OEM-производители во всем мире используют платформу RTOS Platform компании IntervalZero, достигая снижения затрат на разработку систем на 25–50%, резко повышая качество продукции, компактность систем, одновременно получая значительный рост доходности.

Дополнительную информацию о 64-разрядной версии расширения реального времени RTX64 2013 для Windows можно получить в офисах и на сайте компании «РТСофт», официальному партнеру IntervalZero на территории России.

IntervalZero

www.IntervalZero.com

*Дополнительная информация:
см. «РТСофт», ЗАО*

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Осциллограф смешанных сигналов с наивысшими характеристиками от Agilent Technologies

Компания Agilent Technologies объявила о расширении семейства осциллографов Infiniium

90000 X, которое теперь включает осциллографы смешанных сигналов (MSO) с наивысшими характеристиками. Всего в серию X добавлено шесть новых моделей MSO, а также модели DSO и DSA с полосой пропускания 13 ГГц.

Новые модели осциллографов оснащены встроенными цифровыми каналами, которые могут работать с частотой дискретизации 20 Гвыб/с при использовании 8-ми каналов или с частотой 10 Гвыб/с при использовании 16-ти каналов. Теперь компания Agilent предлагает осциллографы смешанных сигналов с верхней границей полосы пропускания аналогового тракта от 70 МГц до 33 ГГц.

Новые осциллографы смешанных сигналов и модели DSO и DSA с полосой пропускания 13 ГГц обладают самым низким в отрасли уровнем шума и джиттером, свойственным осциллографам серии Infiniium 90000 X, при беспрецедентно низкой цене.

Комплект для модернизации Agilent N2834A позволяет в любой момент добавить в осциллограф цифровые каналы.

Осциллографы смешанных сигналов серии Infiniium 90000 X способны захватывать до 400 миллионов выборок на каждый цифровой канал. Для компенсации разницы в частоте дискретизации между высокоскоростными аналоговыми каналами и цифровыми каналами, доступная память может автоматически перераспределяться в соответствии с длиной аналоговой осциллограммы, включая полную память 2 Гвыб, доступную в осциллографах Agilent. Такая глубина памяти позволяет выпол-

нять полностью коррелированный по времени захват и анализ неперiodических событий.

В новых осциллографах реализован специальный режим запуска по шине DDR, позволяющий выполнять разделение циклов чтения/записи и совмещение глазков при тестировании этой шины.

Осциллограф смешанных сигналов оборудован тем же 90-контактным разъемом, что и логические анализаторы Agilent. Это открывает доступ к широкому выбору пробников.

Agilent Technologies Inc.

www.agilent.ru

Дополнительная информация:
см. *Agilent Technologies Inc.*



МК И DSP

8-bit MCU: Simple. Intelligent. Analog.



Новое семейство недорогих 8-разрядных микроконтроллеров PIC от Microchip со встроенным операционным усилителем

Компания Microchip анонсирует PIC16F527 и

PIC16F570 — два новых 8-разрядных микроконтроллера PIC®, сочетающих в себе простоту использования PIC микроконтроллеров с аналоговой периферией. Это первый шаг на пути создания семейства недорогих микроконтроллеров, применимых в различных устройствах. Встроенные 8-разрядные АЦП, два компаратора и двоярный операционный усилитель делают эти МК отличным решением для задач, требующих формирования и усиление сигнала.

В МК PIC16F527 и PIC16F570 используется компактная и высокоэффективная 8-битная архитектура, а также ряд функций, которые делают эти устройства более простыми в использовании и надежными. Новые возможности обработки аппаратных прерываний, позволяют разработчикам реализовывать более сложные функции без использования дополнительного программного обеспечения. Встроенный модуль Brown-Out Reset (BOR) способен обнаружить ошибку в системе питания и безопасно перезапустить МК, чтобы не повредить память. Новые МК также обладают самопрограммируемой флэш-памятью программ, расширяющей возможности использования EEPROM. Эти ключевые особенности, в сочетании со встроенной аналоговой периферией, делают эти новинки очень привлекательными для использования в недорогих устройствах с датчиками, таких как датчики дыма, датчики окиси углерода и датчики света.

Микроконтроллер PIC16F527 доступен в 20-выводных корпусах PDIP, SOIC, SSOP и QFN, и они уже доступны для заказа. Микроконтроллер PIC16F570 будет доступен в июне этого года для пробы и серийного производства, и будет выпускаться в 28-выводных корпусах PDIP, SOIC, SSOP и QFN.

Микроконтроллеры PIC16F поддерживаются полным набором инструментов от Microchip, включая демонстрационную плату PICkit Low Pin Count Demo Board (DM164130-9), лабораторный набор PICDEM Lab Development Kit with PICkit™ 3 (DM163045), PICDEM Mechatronics (DM163029), оценочный набор PICkit 3 Starter Kit (DV164130), MPLAB® ICD 3 Evaluation Kit (DV164036) и компилятор MPLAB XC8 для 8-разрядных PIC-микроконтроллеров.

Microchip Technology

www.microchip.com

Дополнительная информация:
см. *Microchip Technology*

СЕТИ И ИНТЕРФЕЙСЫ

Первый сетевой контроллер MOST150 с поддержкой высокоскоростного USB 2.0 интерфейса от Microchip

Компания Microchip представляет OS81118 — первый интеллектуальный сетевой контроллер (Intelligent Network Interface Controller — INIC) MOST150 со встроенной поддержкой порта USB 2.0 high-speed device port и коаксиальным передатчиком.

Технология MOST150 впервые была успешно применена в автомобилях 2012 года модельного ряда. Благодаря порту USB 2.0, включая USB PHY и High-Speed Inter-Chip interface (HSIC), контроллер OS81118 дает разработчикам возможность создавать системы, совместимые с мобильными устройствами и Wi-Fi соединениями и использующие сеть MOST150, путем подключения Wi-Fi/3G/LTE модулей через порт USB. Это простое решение отражает современные требования рынка автомобилей, такие как доступ в Интернет. Контроллер OS81118 позволяет подключаться новейшим пользовательским многоядерным системам-на-кристалле (SoC) к автомобильным MOST-сетям.

Помимо интерфейса оптического физического уровня (oPHY), в состав OS81118 также входит коаксиальный передатчик, который позволяет снизить стоимость использования физического уровня MOST. Кроме того, коаксиальный физический уровень (cPHY) можно использовать для создания ADAS-систем.

Мультимедийные сетевые технологии MOST открывают возможность связывать многофункциональные развлекательные системы в автомобиле, путем предоставления средств для распространения развлекательных функций среди различных управляющих устройств. Например, CD/DVD-плеер, радио, GPS-навигатор, мобильный телефон и цифровые медиа интерфейсы могут обмениваться сигналами через MOST-сеть.

Компания Microchip также представляет плату Physical+ Interface Board OS81118. Эта плата включает в себя весь физический аппаратный интерфейс сети MOST. Плата Physical+ Interface Board OS81118 совместима с интерфейсом USB 2.0, поддерживающим оптический и коаксиальный физические слои. Поступление в продажу ожидается в ADAS 3-м квартале 2013 года. Контроллер OS81118 будет выпускаться в 72-выводном корпусе QFN и поступит в массовые продажи предположительно в январе 2014 года.

Microchip Technology

www.microchip.com

Дополнительная информация:
см. *Microchip Technology*

Agilent Technologies Inc.

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр.1

Тел.: +7 (495) 797-3928

tmo_russia@agilent.com

www.agilent.ru

Microchip Technology

Тел.: (812) 325-5115

sale@gamma.spb.ru

www.microchip.com

«РТСофт», ЗАО

105037, Москва, ул. Никитинская, д. 3

Тел.: (495) 742-68-28, 967-15-05

Факс: (495) 742-68-29

rtsoft@rtsoft.ru

www.rtsoft.ru

ЭЛТЕХ, ООО

196247, С.-Петербург, пл. Конституции, д. 3 А
(бизнес-центр «Пирамида», 5 этаж)

Тел.: (812) 635-50-60

Факс: (812) 635-50-70

info@eltech.spb.ru

www.eltech.spb.ru

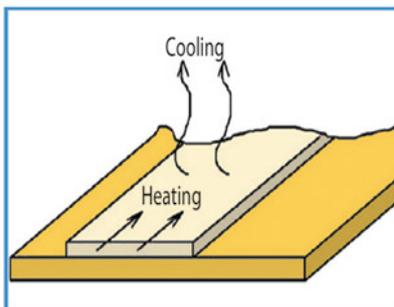
3

2013

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

www.elcp.ru

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ



**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ
ТОКОМ И ТЕМПЕРАТУРОЙ
ПРОВОДНИКА**

С. 121



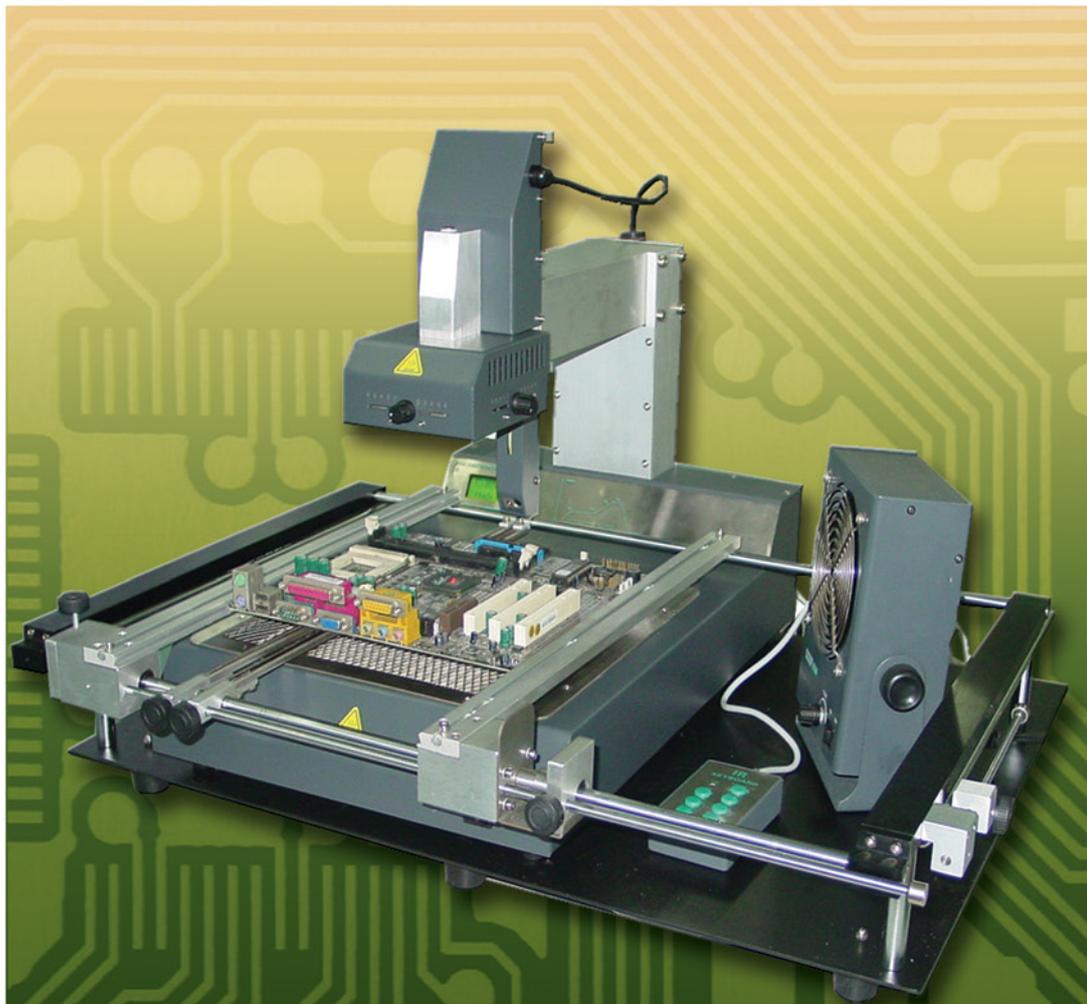
**ФОРМИРОВАНИЕ ФОТО-
РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЁНОК НА
ПОВЕРХНОСТЯХ ПОЛУПРО-
ВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН**

С. 139



**...ПОСТОЯННОЕ
СТРЕМЛЕНИЕ
К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ**

С. 146



ИСПЫТАНИЕ.

ТЕСТИРОВАНИЕ.

НАДЕЖНОСТЬ.

КАЧЕСТВО

ЛУЧШИЕ ЦЕНЫ НА УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ВАННЫ ELMA ИЗ ГЕРМАНИИ



- Электронный контроль времени и нагрева
- Высокоэффективные системы ультразвуковых преобразований
- Функция Sweep: однородное распределение ультразвуковой мощности по всему объему ванны
- Функция Degas: быстрая дегазация свежеприготовленной чистящей жидкости
- Функция Pulse: увеличение мощности ультразвукового воздействия без увеличения энергопотребления
- Многочастотная технология в одной мойке
- Различные варианты исполнения ванн и каскадных систем

www.global-smt.ru

+7(495) 980-08-19



**ОБОРУДОВАНИЕ
для SMT**



**ОБОРУДОВАНИЕ
для МИКРО-
ЭЛЕКТРОНИКИ**



**ПЕРЕДОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**



СЕРВИС

**КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ
для производства электроники**

содержание ПЭ №3/2013

РЫНОК

115 «ЛионТех» на «ЭкспоЭлектронике 2013»

РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ

117 Уильям Кувьелло

Увеличение производительности за счет недорогой технологии высокой плотности монтажа

121 Дуглас Брукс

Зависимость температуры печатных проводников от тока. Часть 1

125 Ила Пэл

Усовершенствованные соединительные приспособления упрощают тестирование и отладку устройств

ИСПЫТАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ

130 Проблемы качества. Точка зрения «Оstek»

МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

134 Рики Беннет, Эрик Хэнсон

Покрывтия с малой поверхностной энергией переписывают правило отношения площадей

ПРОИЗВОДСТВО МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

139 Анатолий Сергиенко

Технологическая система формирования фоторезистивных плёнок. Часть 1

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

146 Сергей Литвинов

Живой склад

contents # 3 / 2013

ELECTRONICS MANUFACTURING #3 2013

MARKET

115 LionTech at ExpoElectronica 2013

DESIGN and DEVELOPMENT

117 Bill CuvIELlo

Increased Performance with Cost-Effective

121 Douglas Brooks

Trace Currents and Temperature, Part 1: The Basic Model Empirical Results

125 Ila Pal

Improved Contactors Simplify Testing IC

TESTING

130 Quality Issues. Ostek's Point of View

STUFFING

134 Ricky Bennett, Eric Hanson

Low Surface Energy Coatings Rewrite Area Ratio Rules

MICROELECTRONICS MANUFACTURING

139 Anatoly Sergienko

Process System for Photoresist Films. Part 1

PLANT MANAGEMENT

146 Sergey Litvinov

Living Warehouse

«ЛионТех» на «ЭкспоЭлектронике 2013»

Этой весной компания «ЛионТех» в очередной раз приняла участие в Форуме «ЭкспоЭлектроника», где запустила производственную линию SMD-монтажа.

Специалисты компании «ЛионТех» заинтересованы в укреплении российской электронной промышленности, поэтому компания не обходит вниманием основные профильные выставки, посвященные технологическому оборудованию и паяльным материалам. При выборе технологического оборудования очень важно оценить его работу в условиях реального производства, именно поэтому с 2009 г. компания «ЛионТех» привозит на выставку линию технологического оборудования поверхностного монтажа и запускает её в рабочем режиме.

В 2010 г. в рамках выставки «ЭлектронТехЭкспо-2010» «ЛионТех» продемонстрировала системы трафаретной печати компании PBT. В 2012 г. «ЛионТех» в составе LED ALLIANCE («Макро групп», «Интех Инжиниринг», «ЛионТех») про-

вела презентацию на выставочной конференции. В 2013 г. впервые на «ЭкспоЭлектронике» мы установили и запустили на выставочном стенде производственную линию SMD-монтажа в процессе сборки печатных плат. В состав линии было включено следующее технологическое оборудование:

- вакуумный загрузчик печатных плат;
- высокоскоростной прецизионный трафаретный принтер SPI с 3-D контролем паяльной пасты;
- высокоскоростной чип-шутер Mirae серии MX-400 L;
- универсальный прецизионный автомат Mirae серии MX-400 LP;
- конвейерная конвекционная печь оплавления TSM серии N70-j с возможностью подключения азота;
- разгрузчик печатных плат на три магазина.

Выставочная зона «ЛионТех» составляла 190 м², поэтому наряду с работающей линией было продемонстрировано и другое оборудование компании, о работе которого все три дня инженеры и технические специалисты «ЛионТех» консультировали посетителей выставки. На стенде были представлены:

- ручные, полуавтоматические и автоматические принтеры трафаретной печати;
- полуавтоматические и автоматические установщики компонентов;
- установка селективной пайки;
- системы контроля (АОИ);
- система отмывки печатных плат;
- конвейерные системы;
- ремонтные и паяльные станции;
- паяльные материалы;
- формовщики и другое вспомогательное оборудование.





Мировой лидер на рынке оборудования АОИ
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Внимание, АКЦИЯ!

«Контролируй качество с АОИ»



- Цифровая камера ISIS® с разрешением 15 Мпик

→

- Телецентрическая линза

→

- OMNI-Vision® 3D-система

→

- Система из 4-х боковых камер Side Viewer® с разрешением 10 Мпик

→

- 6-уровневая цветная подсветка

→


10 систем автоматической оптической инспекции по специальной цене



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Акция стартует с 10 мая 2013 г.



Особый интерес посетителей вызвала игра в шашки автоматического установщика компонентов Mechatronika M70 (Польша). Программу игры в шашки для установщика компонентов написал сервисный инженер компании «ЛионТех».

Мы были рады принимать иностранных гостей в выставочной зоне «ЛионТех». Это были представители ведущих мировых компаний-производителей высокоскоростных и прецизионных автоматов установщиков компонентов, трафаретных принтеров для крупносерийной сборки, систем отмывки электронных сборок, ком-

пактных настольных SMT-принтеров и установщиков выводных элементов (инсертеров).

Приятной неожиданностью для компании стал диплом «За профессиональную маркетинговую подготовку».

Ценность Форума «ЭкспоЭлектроника» в том, что сюда на три дня со всей России и ближнего зарубежья съезжается большое количество специалистов, интересующихся технологическим оборудованием и материалами для производства изделий электронной промышленности. Благодаря этому мы, как участники выставки, не только нашли новых партнеров, но и с удо-

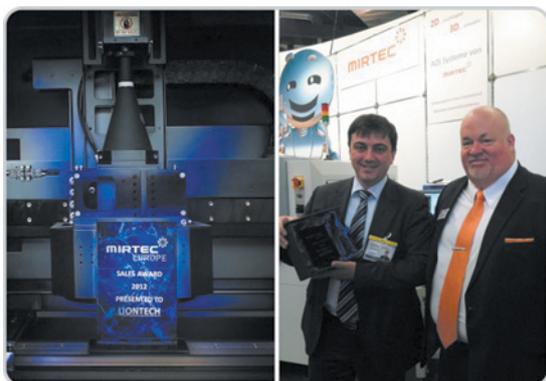
вольствием пообщались с заказчиками, уже ставшими для нас добрыми друзьями за годы сотрудничества. Мы желаем «ЭкспоЭлектронике» успехов и дальнейшего развития, а также просим организаторов рассмотреть предложение о проведении Форума «ЭкспоЭлектроника» не только в Москве, но и в Санкт-Петербурге.

Выставка закончилась, а компания по-прежнему продолжает знакомить специалистов с оборудованием для производства электроники. Действующее оборудование работает в демонстрационных центрах компании в Москве и Санкт-Петербурге, а кроме того «ЛионТех» предоставляет уникальную возможность установки и отработки технологического процесса на оборудовании компании в условиях производства заказчика. Для уточнения этой информации звоните по телефону: 8-800-555-68-89 (звонок по России бесплатный).

Наши специалисты не только ориентируют вас в актуальных ценах и предложениях на оборудование, но и предложат комплексные решения для сборки изделий электроники любой сложности: от разработки проекта технологических линий до его воплощения с последующим техническим сопровождением и отработкой технологических процессов на предприятии.

www.liontech.ru

СОБЫТИЯ РЫНКА



| ООО «ЛИОНТЕХ» — ЛУЧШИЙ ПОСТАВЩИК АВТОМАТИЧЕСКИХ

ОПТИЧЕСКИХ ИНСПЕКЦИЙ MIRTEC В ЕВРОПЕ |

17 апреля на выставке «SMT Hybrid Packaging-2013» в Нюрнберге (Германия) Mirtec Co. — ведущий южно-корейский производитель автоматических инспекционных систем, обладатель премии «Мировой лидер на рынке оборудования АОИ» — в присутствии представителей иностранной прессы вручил компании «ЛионТех» приз как лучшему поставщику в Европе по результатам работы за 2012 г.

Компания «ЛионТех» представляет технологии инспекции компании Mirtec на всей территории России, СНГ, Украины и Прибалтики. При быстром росте рынка Восточной Европы и увеличении его важности компания Mirtec нуждалась в партнере, обладающем техническим опытом и высококвалифицированной сервисной службой. Компания «ЛионТех» отвечает обоим требованиям и уже долгое время является надёжным партнёром компании Mirtec. Специалисты компании «ЛионТех» располагают

информацией о современном состоянии технологий проверки Mirtec и могут помочь заказчикам в трудных вопросах при работе с системами инспекции.

При вручении награды Дэвид Беннетт, президент Mirtec Europe, сказал: «Компания «ЛионТех» является сейчас одним из самых сильных дистрибьюторов оборудования в Европе. Нам очень приятно работать с Алексеем Василенко и его высокопрофессиональной командой».

С 10 мая стартовала совместная акция компании Mirtec Co. и ООО «ЛионТех», в рамках которой выставлено на реализацию 10 систем автоматической оптической инспекции по специальным ценам. Вместе с этим участники акции получают возможность пройти обучение в сертифицированном тренинг-центре IPC по программе IPC-A-610D «Критерии качества электронных сборок». После обучения специалист получит сертификат международного образца, полный перечень документации и методических указаний.

www.liontech.ru

Увеличение производительности за счет недорогой технологии высокой плотности монтажа

УИЛЬЯМ КУВЬЕЛЛО (WILLIAM CUVIELLO), ст. менеджер по маркетингу продукции, Vishay Intertechnology

Благодаря улучшенной топологии и согласованию динамических характеристик технология HDI обеспечивает большую плотность размещения компонентов и большую плотность контактов. Это достигается за счет использования многослойных тонкопленочных плат.

Электронные системы на печатных платах неуклонно уменьшаются в размерах, а производительность их также неуклонно растет. В компактных портативных продуктах, начиная с сотовых телефонов и заканчивая высокоточным оружием, технология высокой плотности интеграции (high-density integration, HDI) позволяет проектировать конечные продукты меньшего размера, отвечающие более высоким стандартам электрических характеристик и эффективности. HDI-платам свойственны малые уровни шумов. Благодаря улучшенной разводке сигнала и согласованию динамических характеристик HDI технология обеспечивает большую плотность контактных соединений и более плотный монтаж компонентов. Все эти усовершенствования стали возможны благодаря использованию тонкопленочных многослойных подложек с высокой плотностью монтажа.

Поскольку эти устройства могут быть чрезвычайно сложными, а их дизайн тесно связан с быстродействием конечного продукта, большинство HDI-плат разработано специально для удовлетворения требований конкретного приложения и достижения наилучшего соотношения цены и производительности. Процесс проектирования включает в себя ряд важных решений, которые определяют производительность HDI-решения и его работоспособность в целевом приложении.

ОСНОВАНИЕ СХЕМЫ: ПОДЛОЖКА

В основе схемы лежит подложка, или основной материал. Его выбор является первым шагом в создании HDI-схемы (см. рис. 1). Каждый вариант предлагает уникальный набор характеристик, влияющих на работоспособность. Самыми важными из них являются: возможность рассеяния мощности — главный фактор в DC-приложениях, и диэлектрическая проницаемость, которая имеет первостепенное значе-

ние в высокочастотных приложениях. Компания Vishay и ее клиенты разрабатывают HDI-продукты с использованием кварца (SiO_2), корунда (оксид алюминия) (Al_2O_3), кремния, ферритов, титанатов, нитрида алюминия (AlN) или оксида бериллия (BeO).

По своим характеристикам кварц хорошо подходит для схем высокой

плотности. Он имеет малый тангенс угла потерь и низкий коэффициент теплового расширения (КТР) — 0,55 ppm/°C. Обычно его выбирают для приложений микроволнового или миллиметрового диапазона волн малой мощности или систем с низкой шунтирующей емкостью. Основным недостатком кварцевой подложки

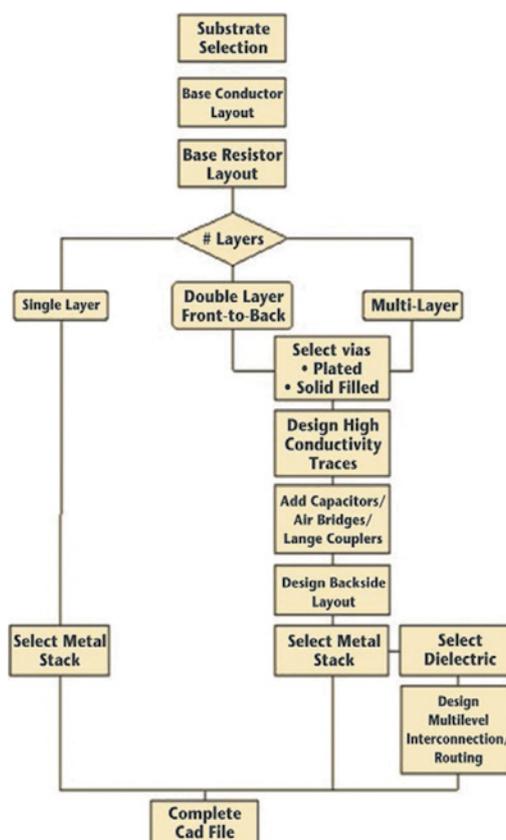


Рис. 1. Стадии проектирования HDI-платы

Substrate Selection — выбор материала подложки; **Base Conductor Layout** — выбор материала проводников; **Base Resistor Layout** — выбор материала резисторов; **# Layers** — число слоев; **Single Layer** — один слой; **Double Layer Front-to-Back** — два слоя (верх-низ); **Multi Layer** — много слоев; **Select vias** — выбор сквозных перемычек; **Plated** — металлизированные; **Solid Filled** — сплошные заполненные; **Design High Conductivity Traces** — трассировка; **Add Capacitors/Air Bridges/Lange Couplers** — добавление конденсаторов/воздушных перемычек/ответвителей Ланге; **Design Backside Layout** — разработка топологии нижней стороны; **Select Metal Stack** — выбор металла для слоев; **Select Dielectric** — выбор диэлектрика; **Design Multilevel Interconnection/Routing** — разработка межслойных соединений/маршрута; **Complete Cad File** — готовый CAD-файл

является очень высокая стоимость. Более щадящую цену имеет корунд; эта экономичная альтернатива кварца подходит для стандартных гибридных или среднемошных СВЧ-приложений. Минимальная толщина подложек для обоих вариантов составляет 5 mil¹, что в два раза тоньше, чем у остальных трех вариантов основных материалов.

Кремний, нитрид алюминия и оксид бериллия имеют гораздо более высокую теплопроводность, чем кварц и корунд. Из этих трех материалов кремний наилучшим образом подходит для средне- и высокомошных DC-приложений, а также для тонких высокоплотных соединений. Нитрид алюминия, являющийся стандартным выбором для мощных микроволновых приложений, идеально совместим по КТР с кремниевыми устройствами. Наконец, с показателями 300 Вт/(м·К) при 25°C и 240 Вт/(м·К) при 100°C у оксида бериллия теплопроводность почти вдвое больше, чем у ближайшего сопоставимого базового материала.

БАЗОВЫЙ ПРОВОДНИК И ТРАССИРОВКА

Определившись с материалом подложки для HDI-плат, разработчик приступает к выбору материала проводника (см. рис. 2) и схем трассировки (маршрутизации сигнала). Поскольку материал проводника является первым металлическим слоем, который создает все основные соединения, он выбирается таким образом, чтобы не только выдержать протекающие токи, но и обеспечить достаточно низкое сопротивление, не ухудшив эффективность устройства.

Плотность тока и сопротивление проводника напрямую влияют на характеристики схемы, поэтому выбор металла, используемого в качестве базового проводника — алюминия (Al) или золота (Au) — может иметь серьезные последствия. При ширине проводников до 20 mil золото может проводить в 5 раз больший максимальный ток, чем алюминий. Это преимущество в меньшей степени проявляется у волоочных соединений длиннее 40 mil. Поскольку диаметр золотого проводника ограничен 2 mil, преимущество алюминиевого проводника состоит в возможности проводить значительно большие токи.

Несмотря на то, что переходные отверстия (сквозные или заполненные) добавляются в HDI-плату позднее, разбраться с их размещением необходимо уже на данном этапе. Как и при выборе подложки и базового проводника, тип

отверстий (например, металлизированные сквозные перемычки или отверстия под контактные ножки) зависит от конкретного приложения.

МАТЕРИАЛ РЕЗИСТОРОВ

Знание материала резистора, мощности, температурного коэффициента сопротивления (ТКС), допусков и требований конкретного приложения необходимо для эффективного расчета цепи, поскольку выбор материала определяет характеристики схемы.

Нихром и нитрид тантала — два наиболее распространенных материала резисторов. Нихром имеет гораздо более низкий ТКС и значительно более высокое поверхностное удельное сопротивление, чем нитрид тантала, но менее устойчив к воздействию окружающей среды. Удельное сопротивление и плотность тока связаны обратной зависимостью, а для достижения требуемого поверхностного сопротивления на различных материалах подложки требуются различные ширины линий.

Кварцевый проводник шириной всего 0,5 mA/mil обеспечивает сопротивление 25 Ом/кв. (кв. — квадратный дюйм). У корунда этот показатель составляет 4 mA/mil при том же сопротивлении, у кремния и нитрида алюминия — 20 mA/mil и 19 mA/mil для 25 Ом/кв., соответственно, а у оксида бериллия — 32 mA/mil для 25 Ом/кв. и 4 mA/mil — для 200 Ом/кв.

НОМИНАЛЫ РЕЗИСТОРОВ И ДИЗАЙН ПЛАТЫ

Типовые номиналы стандартных резисторов находятся в диапазоне 5 Ом...2 МОм, абсолютные и относительные допуски 5–0,1% и 1–0,01%, соответственно, в зависимости от диапазона. Для СВЧ-резисторов цифры другие: сопротивление в интервале 10–1000 Ом с абсолютной и относительной погрешностью 0,5% и абсолютным ТКС не более 200 ppm/°C.

Для более узкой спецификации СВЧ-приложений, как правило, требуются резисторы меньших номиналов в полосковом исполнении. В рассматриваемом исполнении резистор представляет собой прямоугольник без разрезов, которые вызывают отражения и влияют на КСВ.

Подгонка обеспечивает требуемые точные значения сопротивления при максимизации выходных характеристик. Контурная подрезка вокруг центральной линии позволяет ограничить отрицательные последствия подгонки и сохранить частотную характеристику. Наконец, использование процедуры

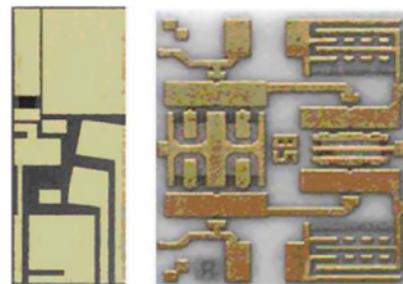


Рис. 2. Примеры топологии проводников со специальной разводкой для монтажа внешних компонентов

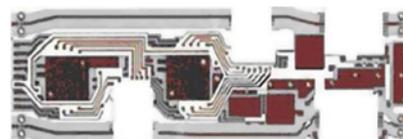


Рис. 3. Используя резку с помощью CO₂-лазера, можно получить HDI-плату практически любой формы со множеством отверстий

высокотемпературной стабилизации позволяет создать очень стабильные резисторы и минимизировать дрейф во времени или от температуры.

ФОРМА HDI-ПОДЛОЖКИ

Подложку можно вырезать практически любой формы. Используя резку CO₂-лазером, фирма Vishay создает подложки требуемой формы со сверлением под сквозные отверстия, межсоединения и перемычки, а также для двусторонней металлизации подложки и краев (см. рис. 3).

Чем меньше конечное изделие, тем более вероятно необходимость в многослойном решении. Этот более сложный подход часто требует применения САПР, поскольку требуется учитывать множество разных факторов, включая трассировку, сквозные отверстия, резисторные ячейки, активные устройства, особые возможности, включая использование конденсаторов, ответвителей Ланге и любые соответствующие межсоединения. Выбор и взаимодействие приложений различных слоев также играют роль в определении эффективности HDI-технологии для конкретного применения. Все эти элементы должны быть оптимизированы, чтобы внести соответствующий вклад в характеристики конечного устройства.

Допуск на параметры размещения элементов на подложке составляет 0,003 дюйма, расстояние от края подложки до цепи — минимум 0,002 дюйма, внутренний радиус закругления —

¹ Mil — единица длины, равная 0,001 дюйма.

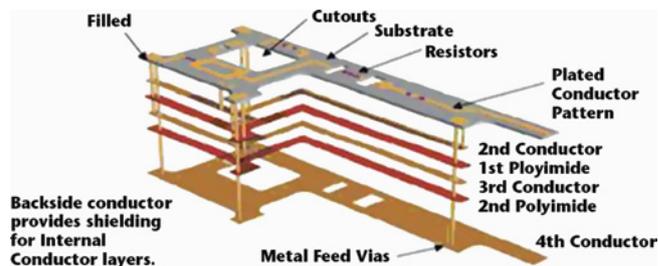


Рис. 4. Детальный план тонкопленочной многослойной HDI-схемы, разработанной для военного вертолета. В разработке используются практически все проектные и технологические возможности

Filled — заполненные отверстия; **Cutouts** — вырезы; **Substrate** — подложка; **Resistors** — резисторы; **Plated conductor pattern** — металлизированный рисунок проводника; **Backside conductor provides shielding for internal conductor layers** — проводник на задней стороне платы обеспечивает экранирование внутренних проводящих слоев; **Metal feed vias** — перемычки для подачи питания; **2nd conductor** — 2-й проводник; **1st polyimide** — 1-й полиимидный слой; **3rd conductor** — 3-й проводник; **2nd polyimide** — 2-й полиимидный слой; **4th conductor** — 4-й проводник

минимум 0,005 дюйма, удаление материала подложки — 25%.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ: ОТВЕРСТИЯ И МЕЖСОЕДИНЕНИЯ

Металлизированные по краям и заполненные сквозные отверстия используются в различных приложениях. Сформированные сквозные отверстия самые недорогие, однако они применяются в HDI-технологии только в тех случаях, когда требуется создать электрическое соединение между разными сторонами платы. Для изготовления металлизированных по краям сквозных отверстий требуются кольца шириной

минимум 0,005 дюймов вокруг каждого отверстия для компенсации совокупной погрешности, возникающей из-за разметки отверстия, выравнивания инструмента, допуска на диаметр, сверления лазером и других факторов. Минимальная толщина металлизированных сквозных отверстий составляет 0,8 от толщины подложки при типовом сопротивлении менее 20 МОм.

Для увеличения отвода тепла к задней стороне печатной платы используются заполненные перемычки. Количество каналов теплоотвода ограничивается лишь площадью подложки, а дополнительный отвод достигается

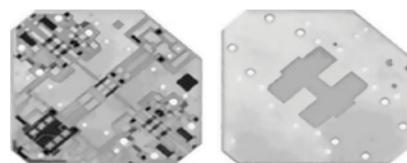


Рис. 5. Пример матрицы на передней и задней сторонах платы

за счет размещения компонентов непосредственно над перемычками. Чтобы улучшить передачу сигнала, используются заполненные сквозные перемычки, предоставляющие дополнительные пути с высокой теплопроводностью к заземленным радиаторам. Типовое сопротивление золотых или медных заполненных перемычек диаметром 7–20 mil составляет менее 3 МОм.

При необходимости в межсоединениях создаются воздушные перемычки на рисунке дорожек проводника путем размещения слоя и нанесения на него дорожек, размещения второго слоя над ним и последующего удаления первого слоя. Воздушные перемычки требуют минимального зазора 0,5 mil между линиями, допуска 0,1 mil, минимальной ширины линий 0,5 mil и высоты 300–500 микродюйм.

При создании воздушной перемычки с подпоркой в качестве первого слоя используется полиамид, который под-

a brand of

TRESTON

GROUP

ТОЛЬКО
НАДЕЖНЫЕ РЕШЕНИЯ
ПО-НАСТОЯЩЕМУ
КАЧЕСТВЕННЫЕ

TRESTON®

www.treston.ru

Таблица 1. Пленочные материалы для слоев некоторых устройств

Слой	Материал	Стандартная толщина распыления	Стандартная толщина на металлизации	Примечание
Адгезия	Титан-вольфрам (TiW)	500 Å мин.	~	
	Титан (Ti)	500 Å мин.	~	
	Нихром (NiCr)	500 Å мин.	~	
	Хром (Cr)	500 Å мин.	~	
Барьер	Нитрид тантала (Ta ₂ N)	300 Å мин.	~	Высокий температурный барьер
	Палладий (Pd)	3–5 кÅ	~	Высокий температурный барьер
	(TiW)	500 Å... 1 кÅ	~	Высокий температурный барьер
Проводник	Никель (Ni)	1,5–5 кÅ	5–15 кÅ	
	Алюминий (Al)	10 кÅ мин	~	
	Золото (Au)	1–3 кÅ	25,4 кÅ мин	
	Медь (Cu)	4–12 мкдюйм (1–3 кÅ)		15–45 мкдюйм (3,8–11,4 кÅ)
Сильноточный проводник	Золото (Au)	~	300 мкдюйм (76,2 кÅ)	мин
	Медь (Cu)	~	1000 мкдюйм (254 кÅ)	
Диэлектрик	Нитрид кремния (Si ₃ N ₄)	2–5 кÅ	~	ε = 6–9
	Полиамид	48 кÅ ± 1 кÅ		ε = 3,4

держивает переключку, образуя более устойчивую и прочную структуру. Если для крепления компонентов к подложке используется эпоксидная смола или припой, дополнительная устойчивость обеспечивается путем создания перегородок из припоя в полиимиде или пластике.

HDI-ЦЕПИ

HDI-цепи на задней стороне платы, а также многослойные HDI-цепи необходимы, чтобы обеспечить необходимые характеристики в пространственно

ограниченной конструкции (см. рис. 4). Хотя экономия места на плате зависит от многих факторов, один дополнительный слой позволяет уменьшить ее площадь примерно в 1,33 раза, два слоя — в 1,77 раза, три — в 2,37 раза, а четыре — в 3,16 раза.

При создании высокоинтегрированных решений на задней стороне платы нижнюю поверхность подложки можно также использовать для создания межсоединений или для заземления, а совмещение шаблонов передней и задней сторон выполняется с точностью до

0,002 дюйма (см. рис. 5). Металлизация на задней стороне служит для экранирования внутренних проводящих слоев в многослойных конструкциях; возможны и такие варианты использования тонкопленочных технологий (см. табл. 1) как металлизированные сквозные отверстия для заземления, большие металлические площадки для создания сопротивления, а также нестандартные формы. Кроме того, структура на задней стороне платы представляет собой экономичную альтернативу многослойной конструкции на ее верхней поверхности.

Если комбинация одного слоя на передней и одного слоя на задней стороне недостаточна, создается многослойная структура на каждой из сторон платы.

В качестве изоляции между металлическими слоями используется диэлектрик, например полиамид, а иногда и нитрид кремния. Хотя полиимид имеет лучшие характеристики в плане топологии и температуры обработки, в целом, для любого из этих материалов нет ограничений на создание многослойных структур. Опять же, следует заметить, что конструкторы должны изучать вопросы совместимости межслойных процессов, т.к. эти проблемы могут ограничивать использование многослойных металлических структур на многослойных диэлектриках.



ALT МАСТЕР
www.altmast.ru ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ

Производство без проблем - это либо рекламный трюк, либо некомпетентность

МЫ УМЕЕМ РЕШАТЬ ПРОБЛЕМЫ



- От опытных образцов до крупносерийного производства
- Профессионально, быстро, прозрачно
- Специальная и медицинская техника, промышленная автоматика, средства радиосвязи, бытовая электроника
- Полный цикл подготовки производства
- Соответствие менеджмента требованиям стандарта ИСО 9001-2008, 100% выходной контроль, автоматическая оптическая инспекция
- Поверхность=4 000 000 комп.в сутки
THT=150 000 пак.в смену
- BGA: монтаж/демонтаж, реболлинг, автоматизированный рентген контроль
- Сборка, влагозащита, тестирование
- PCB - изготовление, трассировка, трафареты
- Технологическое сопровождение и техническая поддержка
- Комплектация электронными компонентами, инженерное сопровождение
- Поставка технологических материалов от ведущих производителей




Производство: (495) 988-9023 Маркетинг: (985) 924-0791
 Логистика: (495) 988-9024 Офис в Москве: (495) 362-5496, +7 (915) 300-0153
 E-mail: info@altmast.ru www.altmast.ru

НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

ПРОРЫВ В ТЕХНОЛОГИИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Британским инженерам нескольких компаний Intelligent Energy, Dyson Technology, Ricardo и TRW Conekt удалось значительно увеличить плотность энергии в системе топливных элементов, что позволяет внедрить эту технологию в транспортные средства с малым выбросом углекислого газа. Стоимость совместного проекта составляет 2,8 млн фунтов стерлингов.

Топливные элементы рассматриваются как перспективная технология по снижению выбросов углекислого газа транспортом. Для повышения ее эффективности необходимо увеличить плотность энергии и надежность, а также усовершенствовать холодный пуск.

В проекте с конструкцией топливных элементов от компании Intelligent Energy (Великобритания) плотности энергии увеличилась более чем на 30%. Выходная мощность тестовой установки была повышена с 30 до 40 кВт при той же массе и габаритных размерах. Также был спроектирован новый модуль охлаждения, позволяющий производить холодный запуск при температурах до -20°C.

Intelligent Energy усовершенствовала конструкцию в целом и компоновку усовершенствованной системы топливных элементов совместно с компанией Ricardo. TRW Conekt провела испытания модулей топливных элементов на устойчивость к вибрации и воздействию окружающей среды.

Dyson Technology разработала высокоэффективный компрессор для подачи воздуха в систему топливных элементов.

www.russianelectronics.ru

Зависимость температуры печатных проводников от тока. Часть 1

ДУГЛАС БРУКС (DOUGLAS BROOKS), д.ф.н., Ultra CAD Design

В первой части этой статьи рассматривается роль в образовании тепла сопротивления проводящих дорожек на печатной плате, и формулируется базовая модель для теплового расчета. Далее обсуждаются практические примеры использования температуры плавления проводящих дорожек для обеспечения эффективной работы устройства, а также вопросы, связанные со сквозными отверстиями.

РОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Дорожки на печатной плате, по которым проходит ток, нагреваются за счет рассеяния мощности I^2R , где I — ток, а R — сопротивление проводника. Как известно, ток представляет собой поток электронов. Отдельные электроны перемещаются по медному проводнику с очень малой скоростью [1]. Точнее, они *мигрируют* от одного атома к другому, замещая в нем другие электроны, после чего перемещаются в следующий атом и т.д. Отдельные электроны перемещаются со скоростью света лишь от атома к атому, но не по проводнику.

Тепло, мерой которого является температура, образуется в результате движения частиц [1]. При ее увеличении перемещение атомов и молекул внутри вещества ускоряется. В частности, хаотичное движение электронов ускоряется с ростом температуры. В результате число случайных столкновений между электронами в проводнике увеличивается. При передаче сигнала по проводнику, в котором происходит множество таких столкновений, необходимо хотя бы до некоторой степени преодолеть этот эффект сопротивления. С этой целью к проводнику прикладывается напряжение.

Сопротивление, которое сигнал встречает при распространении по проводнику, главным образом, является результатом этих столкновений. При относительно низких температурах число столкновений меньше, благодаря чему сопротивление проводника относительно невелико, и наоборот. Число электронов, образующих ток, растет с увеличением поперечного сечения проводника, благодаря чему прохождение тока облегчается. Итак, сопротивление проводника уменьшается с увеличе-

нием поперечного сечения и растет с увеличением температуры.

Таким образом, при прохождении через проводник тока его небольшая часть рассеивается, образуя тепло, которое определяется как I^2R . При более высокой температуре теряется, как правило, больше энергии. В то же время меньшая энергия рассеивается при протекании тока через проводник с большим поперечным сечением.

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Электрическое сопротивление конкретного материала определяется его удельным сопротивлением. Серебро, медь и золото имеют самые малые удельные сопротивления среди всех других элементов. Так, например, у серебра оно составляет $1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, у меди — $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, у золота — $2,2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Поскольку сопротивление увеличивается с ростом температуры, удельное электрическое сопротивление определяется при заданном значении температуры. Как правило, это температура окружающей среды 20°C .

Удельное сопротивление материала, приведенное к единице площади поперечного сечения проводника, представляет собой сопротивление на единицу длины: $\text{Ом}\cdot\text{м}/\text{м}^2 = \text{Ом}/\text{м}$.

Если умножить это значение на длину проводника, получим: $\text{Ом}/\text{м} \cdot \text{м} = \text{Ом}$ (сопротивление).

Итак, сопротивление проводника определяется следующим образом:

$$R = (\rho/A) \cdot L, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника; A — площадь его поперечного сечения; L — длина. Поскольку величина удельного сопротивления указана при определенной температуре,

сопротивление проводящей дорожки рассчитывается с помощью уравнения (1) при этой температуре.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Как правило, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) обозначается символом α . ТКС характеризует зависимость электрического сопротивления от температуры следующим образом:

$$R = R_{\text{исх}}(1 + \alpha\Delta T), \quad (2)$$

где R — сопротивление при заданной температуре; $R_{\text{исх}}$ — сопротивление при исходной температуре; α — температурный коэффициент сопротивления; ΔT — разность между заданной и исходной температурами, $^\circ\text{C}$.

Температурный коэффициент сопротивления серебра равен $0,003819$ (1/K), меди — $0,004041$ (1/K), золота — $0,003715$. Очень грубо ТКС можно оценить как $0,4\%$ на 1°C .

СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕДНЫХ ПРОВОДОВ И ДОРОЖЕК

Данные о сопротивлении медных проводов произвольного размера представлена в технических описаниях и на соответствующих веб-сайтах. Стандартная таблица сопротивлений, как правило, основана на американском стандарте калибра проводов (American Wire Gauge), который, в свою очередь, базируется на проволочном калибре Брауна Шарпа (Brown and Sharpe Wire Gauge), появившемся в 1857 г. Несмотря на то, что в этих таблицах представлена информация для 44 калибров проволоки, этих данных недостаточно для определения сопротивления по размеру дорожек печатных плат. Компания UltraCAD [2] предлагает на своем сайте бесплатный

калькулятор для установления соотношения между размерами проводников, калибром проволоки и сопротивлениями.

На рисунке 1 представлено окно этого калькулятора.

Верхняя часть калькулятора позволяет ввести два любых параметра (калибр проволоки, толщину и ширину дорожки), чтобы установить третий. Например, если требуется определить сопротивление дорожки при заданной температуре, в калькулятор вводятся данные о ее длине и температуре окружающей среды. Зная протекающий по дорожке ток, можно рассчитать напряжение на этом проводнике.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДЯЩЕЙ ДОРОЖКИ

Рассмотрим взаимосвязь между током и температурой проводящей дорожки на печатной плате (см. рис. 2). Проводник подвержен нагреву в результате рассеивания мощности. Он охлаждается благодаря эффектам теплопроводности и конвекции. Температура проводника перестает изменяться тогда, когда образующееся тепло уравнивается его оттоком. Изменение температуры проводника определяется следующим образом:

$$\Delta T \approx I^2 R \quad (3)$$

Поскольку R обратно пропорционально площади проводника A , это уравнение можно переписать как:

$$\Delta T \approx \frac{I^2}{A} \quad (4)$$

Отсюда следует, что:

$$I \approx \sqrt{\Delta T A}, \quad (5)$$

или:

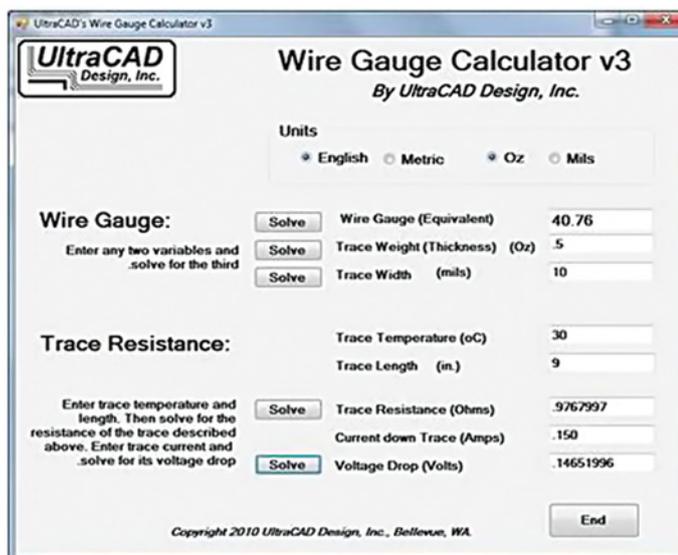
$$I \approx \Delta T^{0.5} A^{0.5}. \quad (6)$$

В более общем виде связь между током, изменением температуры и площадью проводника следующая:

$$I \approx \Delta T^{\beta_1} A^{\beta_1} \quad (7)$$

Необходимость в более общем уравнении продиктована двумя причинами. Во-первых, от форм-фактора дорожки зависит и ее нагрев, и охлаждение. Следовательно, можно ожидать, что показатель степени у ΔT меняется в зависимости от каждого конкретного случая. Другой причиной необходимости в более общем уравнении является зависимость удельного сопротивления проводника от температуры. Если исходить из того, что единственным опреде-

Рис. 1. Калькулятор для сортамента проводов от компании UltraCAD



ляющим фактором изменения температуры является рассеиваемая мощность, показателем степени при ΔT является 0,5. Но поскольку при нагревании проводящей дорожки ее удельное сопротивление изменяется, при заданном токе показатель степени при ΔT несколько отличается от 0,5.

В [3] сделан вывод о том, что на вид уравнения (7) влияет форм-фактор дорожки. Так, например, повышение температуры по-разному влияет на нагрев широкой дорожки со сравнительно небольшой толщиной и на нагрев более узкой и толстой дорожки с той же площадью поперечного сечения. Этот факт объясняется тем, что проводник с большей шириной охлаждается лучше, чем относительно узкий проводник. Постоянная температура устанавливается тогда, когда количество тепла ($I^2 R$), образующегося в результате прохождения тока по проводнику, уравнивается его охлаждением (что определяется площадью или, точнее, шириной проводника W). Уравнение (7), в котором фигурирует площадь дорожки, можно переписать с учетом форм-фактора (ширины W и толщины Th) этого проводника следующим образом:

$$I \approx \Delta T^{\beta_1} \cdot W^{\beta_2} \cdot Th^{\beta_3} \quad (8)$$

Уравнение 8 становится, таким образом, более подходящей моделью для исследования взаимосвязи между токами, проходящими через проводник, и его температурой. В следующем разделе части этой статьи мы рассмотрим экспериментальные результаты, полученные с использованием этой модели.

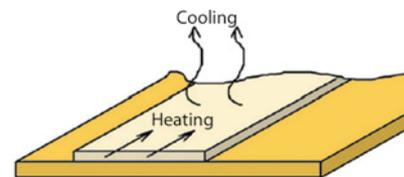


Рис. 2. Проводник, нагревшийся в результате протекания тока, охлаждается за счет эффектов теплопроводности и конвекции
Heating — нагрев; Cooling — охлаждение

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Уравнения (7) и (8) можно переписать с учетом коэффициента пропорциональности k следующим образом:

$$I = k \Delta T^{\beta_1} \cdot A^{\beta_2} \quad (9)$$

$$I = k \Delta T^{\beta_1} \cdot W^{\beta_2} \cdot Th^{\beta_3}, \quad (10)$$

где I — ток; ΔT — изменение температуры; A — площадь проводника; W — его ширина; Th — толщина.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Справедливость полученных выражений была проверена с помощью трех наборов данных. Первый из них представляют собой хорошо известные исходные данные IPC [4]. Эти характеристики также известны как стандарт IPCD-275 [5]. Необходимо заметить, что исходный набор данных впервые был опубликован в 1955 г. в отчете NBS Report 4283. Поскольку некоторые параметры нуждались в дальнейшем определении, в примечаниях исходных таблиц было указано: «уточняется». Однако соответствующие исследования проведены не были, и примечания со временем исчезли. Хотя в исходных таблицах приведены

данные для проводников внешних и внутренних слоев, на самом деле эта информация относится только к внешним проводникам. Данные для внутренних слоев были получены путем уменьшения данных для внешних проводников на 50%.

Одним из недостатков представленных данных является отсутствие информации, которая учитывала бы форм-фактор проводящих дорожек.

Второй набор эмпирических данных, опубликованных в издании Design News (DN), представлен в [6]. Мы используем эти сведения в анализе по двум причинам. Во-первых, известно не очень много источников такой информации. Во-вторых, данные из Design News позволяют учесть форм-фактор проводящих дорожек.

Наконец, в августе 2009 г. ассоциация IPC опубликовала стандарт IPC-2152 под названием "Standard for Determining Current Carrying Capacity in Printed Circuit Board Design" («Стандарт для определения допустимых токов печатных плат»). В основном документе представлены общие указания по определению размеров проводников и диаграммы с результатами испытаний проводников как на внешних, так и на внутренних слоях в воздухе и вакууме. Приложение к документу содержит дополнительные данные, поясняющие, как разные параметры влияют на перегрев проводников, а также свыше 100 диаграмм, учитывающих разную толщину меди. Стандарт также учитывает разные форм-факторы печатных проводников.

Мы проанализируем эмпирические результаты из этих трех источников информации.

ПРОЦЕДУРА АНАЛИЗА

Данные из таблиц используются в статистическом регрессивном анализе для оценки взаимосвязи между разными параметрами и получения соответствующих уравнений. Если прежде подобный статистический анализ был не вполне легкой задачей, то теперь с помощью современных электронных таблиц он выполняется очень просто.

Возникает вопрос, насколько точны данные, представленные в этих таблицах. На наш взгляд, погрешности сравнительно невелики и, что еще важнее, они имеют случайное распределение, благодаря чему ошибки лишь в

незначительной мере отражаются на результатах. Величину этих погрешностей можно оценить с помощью разных статистических характеристик. В частности, можно определить среднюю квадратическую ошибку (и значения R²). Поскольку описание статистического анализа выходит за рамки этой статьи, следует лишь заметить, что используемый метод вполне точен.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Эмпирические результаты, представленные в трех источниках данных, приведены в уравнениях 11—16:

$$\text{IPC 2221:} \\ I = 0,065 \cdot \Delta T^{0,43} \cdot A^{0,68} \quad (11)$$

$$\text{IPC 2221:} \\ I = 0,065 \cdot \Delta T^{0,43} \cdot W_{0,67} \cdot Th^{0,68} \quad (12)$$

$$\text{DN:} \\ I = 0,040 \cdot \Delta T^{0,45} \cdot A^{0,69} \quad (13)$$

$$\text{DN (1 и 5 унций/кв.фут):} \\ I = 0,028 \cdot \Delta T^{0,46} \cdot W^{0,76} \cdot Th^{0,54} \quad (14)$$

$$\text{DN (2 унций/кв.фут):} \\ I = 0,034 \cdot \Delta T^{0,46} \cdot W^{0,76} \cdot Th^{0,54} \quad (14a)$$

$$\text{IPC 2152 (воздух):} \\ I = 0,063 \cdot \Delta T^{0,50} \cdot A^{0,58}, \text{ или} \quad (15)$$

$$\text{IPC 2152 (воздух):} \\ I = 0,070 \cdot \Delta T^{0,51} \cdot W^{0,57} \cdot Th^{0,47} \quad (16)$$

Анализируя уравнения 12, 13 и 15, которые не учитывают форм-фактор, можно сделать следующие выводы. Во-первых, показатели степеней сомножителей почти совпадают для каждого источника данных, т.е. с высокой степенью вероятности можно считать, что форма кривых (тангенсы угла наклона и кривизна) верно отражает реальную зависимость.

С другой стороны, коэффициенты пропорциональности k в уравнениях существенно различаются, по крайней мере, в некоторых случаях и особенно при использовании данных DN. Этот коэффициент определяет положение кривой (а не ее формы). Можно сделать вывод о том, что, в отличие от положения кривых, их форма соответствует действительности.

Анализируя данные о форм-факторах (см. уравнения 12, 14 и 16), можно сделать следующие выводы. Во-первых, уравнения 11 и 12 по данным IPC практически тождественны и

не учитывают информацию о форм-факторах, поскольку она не была собрана.

Формы кривых, построенных на основании данных издания DN, которые учитывают форм-фактор, значительно различаются. В этих данных также наблюдается некоторая непоследовательность. Так, например, проводники толщиной 1 и 5 унций/кв.фут имеют практически одинаковые кривые (уравнение 14), тогда как в уравнении 14a для 2-унцевых проводников совершенно другой коэффициент пропорциональности. Очевидного объяснения этому факту нет. Вполне возможно, что в случае с проводниками толщиной 2 унции/кв.фут испытания контролировались не должным образом, о чем мы поговорим позже.

Похоже, данные от IPC занимают промежуточное положение между двумя другими результатами. Разница между уравнениями 15 и 16 позволяет предположить, что учет форм-фактора изменяет результаты, но это отличие не имеет столь выраженного характера, как в случае с данными DN.

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗЛИЧИЙ

В трех рассматриваемых случаях наблюдались различия в порядке проведения испытаний. При этом не все различия изучены и упоминаются в отчетах. Некоторые из этих отличий представлены в таблице 1.

В исходных исследованиях IPC тестовые платы подвешивались вертикально, а в исследованиях DN — горизонтально. Скорее всего, в нынешних испытаниях IPC используется та же процедура, что и полвека назад. В работе [7] показано, что время переходного процесса занимает до 5 мин после изменения тока. По имеющимся данным, в прежних исследованиях IPC время установления составило 30 с. Этот параметр не упоминается в исследованиях, описанных в DN. Примечательно, что опубликованные в DN данные выглядят заниженными [8] по сравнению с результатами, полученными в первых исследованиях IPC, и соответствуют более продолжительному времени установления. «Заниженные» в данном контексте означает, что при заданном изменении температуры ток менялся на меньшую величину. В нынешнем отчете IPC этот параметр не упоминается — известно лишь, что на стабилизацию температуры требуется «достаточно продолжительное время».

Возможно, наиболее существенной разницей в порядке проведения испытаний стал метод измерения температуры печатного проводни-

Таблица 1. Некоторые различия в порядке проведения испытаний

	IPC	DN
Тестовая плата	Вертикально установленная	Горизонтально установленная
Измерение температуры	Изменение сопротивления	ИК-микроскоп
Время установления	30 с	??

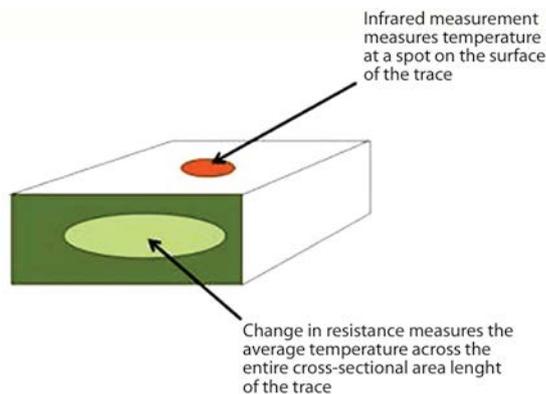


Рис. 3. Различия в методах измерения температуры

Infrared measurement... — С помощью ИК-микроскопа измеряется температура на определенном участке поверхности печатного проводника; **Change in resistance...** — По изменению сопротивления определяется средняя температура всей площади поперечного сечения и длины проводника

ка. В испытаниях IPC температура определялась по изменению сопротивления (см. формулу 2). В испытаниях, опубликованных в DN, изменение сопротивления устанавливалось с помощью инфракрасного микроскопа.

Оба этих метода вполне пригодны для измерения температуры, но в некоторых случаях они измеряют не тождественные параметры. Способ измерения температуры по изменению сопротивления определяет среднюю температуру всей площади поперечного сечения и длины проводника, тогда как с помощью ИК-микроскопа измеряется температура локального участка на поверхности проводника (см. рис. 3). Можно предположить, что значения, полученные с помощью второго метода, в целом несколько точнее результатов измерений, которые основаны на методе изменения сопротивления. Этот вывод также согласуется с тем фактом, что результаты DN выглядят заниженными по сравнению с данными IPC.

Наконец, в каждом методе измерения температуры необходимо контролировать соответствующие параметры, выполняя калибровку. В методе измерения разницы температур по сопротивлению требуется достаточно точно знать тепловой коэффициент сопротивления того медного сплава, из которого изготовлен печатный проводник. С другой стороны, измерения с помощью ИК-микроскопа в большей мере зависят от отражающей способности поверхности тестируемого материала. Как правило, ИК-микроскопы необходимо тщательно калибровать перед каждым измерением. Ошибки в определении отражающей способности могут значительно изменить результаты. Учитывая такую зависимость, можно объяснить, почему результаты для проводников толщиной 2 унции/кв.фут

так разнятся с результатами, полученными для проводников с толщинами 1 и 5 унций/кв.фут.

СПРАВЕДЛИВОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Перепишем уравнения 14 и 16, которые учитывают форм-фактор печатного проводника, в виде выражений, определяющих изменение температуры. При этом допустим, что $(\Delta T^{0.46})^2 \approx \Delta T$, $(W^{0.57})^2 \approx W$ и т.д. Учитывая, что $A = W \cdot Th$, а $R \approx 1/A$, получим:

$$\begin{aligned} \text{IPC 2152:} \\ \Delta T \approx k \cdot I^2 R, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{DN:} \\ \Delta T \approx k \cdot I^2 R / W^{0.5} \end{aligned} \quad (18)$$

Таким образом, данные IPC показывают, что изменение температуры прямо пропорционально $I^2 R$, т.е. обусловлено только нагревом проводника. Результаты от DN свидетельствуют о том, что изменение температуры прямо пропорционально $I^2 R$ и обратно пропорционально квадратному корню из ширины проводника, т.е. определяется его нагревом и охлаждением. Результаты от DN в большей мере соответствуют модели учета форм-фактора, которую мы уже рассмотрели.

КАКИЕ УРАВНЕНИЯ СЧИТАТЬ ИСТИННЫМИ?

Какие уравнения из рассмотренных следует считать верными? Результаты от DN в лучшей степени учитывают форм-фактор. Во второй части этой публикации будет показано, что данные DN также в лучшей мере соответствуют моделям учета тока плавления, несмотря на некоторые ограничения. Нынешние данные от IPC, возможно, были получены в более контролируемых условиях проведения испытаний, чем прежде,

и их можно считать самыми надежными. Но самое главное заключается в том, что исходные данные IPC прошли испытание временем — с момента их получения прошло уже более 55 лет!

Итак, температуру печатного проводника определяет множество факторов. Форма экспериментальных кривых вполне точно описывает поведение этого параметра, тогда как расположение кривых (т.е. коэффициент пропорциональности в соответствующих уравнениях) зависит от многих вещей, которые на практике определяются в каждом конкретном случае.

КАЛЬКУЛЯТОР

Компания UltraCAD создала калькулятор, осуществляющий расчет температуры печатных проводников [2] на основе уравнений 11—16. Для практических нужд рекомендуется использовать данные текущего стандарта IPC-2152 для печатных проводников внутренних и внешних слоев в воздухе и в вакууме, исходные данные IPC (стандарт IPC-D-275) либо данные, опубликованные в издании Design News. Для расчета одного из четырех параметров (ширина, толщина, ток и изменение температуры) необходимо ввести в калькулятор три остальных значения. Это приложение при необходимости также позволяет рассчитывать поверхностный эффект [8].

Во второй части статьи мы рассмотрим параметр, который определяет количество тока, необходимое для расплавления печатного проводника, а также способ определения нагрева сквозных отверстий на печатных платах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Douglas Brooks. *What is This Thing Called Current: Electrons, Displacement, Light, or What?*://www.ultracac.com.
2. www.ultracac.com.
3. John McHardy, Mahendra Gandhi. *Empirical Equation for Sizing PWB Traces*. IPC Works '97 October 5—9. 1997. IPC Technical Paper S06-2.
4. IPC-2221. *Generic Standard on Printed Circuit Board Design*://http://classes.soe.ucsc.edu.
5. *Current Carrying Capacity in Printed Circuits, Past, Present, and Future*. IPC Printed Circuits Expo. March 25. 2003.
6. Michael Friar and Roger McClurg. *Printed Circuits and High Currents*. Design News. Vol. 23. December 6. 1968. PP. 102—107.
7. Michael Jouppi. *Thermal Characterization of Electrical Conductors in Multi-Layer Printed Wiring Boards in Space Environments*.
8. www.pcbdesign007.com.

Усовершенствованные соединительные приспособления упрощают тестирование и отладку устройств

[ИЛА ПЭЛ \(ILA PAL\), Ironwood Electronics, Inc.](#)

На стадии разработки устройств микросхемы не припаиваются на тестовую плату, а крепятся специальными приспособлениями, например пружинным зондом. Для надежного электрического соединения он должен сжиматься по высоте. Поскольку ИС не являются идеальными планарными устройствами, пружины зондов сжимаются на разную высоту, что ведет к изменению электрического сопротивления каждого сигнального пути. В статье обсуждается возможность изменения конструкции пружинного зонда, и рассматривается зависимость других характеристик ИС от типов этого устройства.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение функциональности интегральных схем ведет к необходимости повысить точность измерения напряжений и с большой точностью обеспечить требуемое напряжение при тестировании параметров ИС по постоянному и переменному току. Единственный способ получить точные и воспроизводимые результаты в ходе тестирования ИС с большим числом выводов заключается в использовании соединительных приспособлений для крепления ИС к плате. При этом необходимо, чтобы сопротивление их контактов изменялось не более чем на несколько мОм.

Например, наиболее часто определяемым параметром по постоянному току является R_{DSON} — сопротивление канала в открытом состоянии полевого транзистора (FET) [1]. Этот параметр, как правило, составляет несколько мОм. Пытаться измерять его с помощью традиционных пружинных пробников, сопротивление которых номинально составляет десятки — сотни мОм и может меняться в зависимости от степени сжимаемости пружин в пределах десятков мОм, нецелесообразно. Альтернативным решением является применение соединения Кельвина, устраняющего влияние изменяющегося сопротивления, разделяя механический и электрический контакт вывода ИС и платы. Для организации соединения Кельвина требуются два пружинных зонда для каждого вывода ИС, что вызывает дополнительные проблемы по механическому выравниванию. Тестирование параметров по переменному току, как например проверка связи с портами или другими внешними модулями, также зависит от характеристик пружинных зондов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТОВ ПРУЖИННЫХ ЗОНДОВ

Для определения сопротивления контактов пружинного зонда необходимо понимать его внутреннее механическое устройство, а также знать, как течет ток через зонд (см. рис. 1). Пружинные зонды с двумя наконечниками состоят из двух плунжеров (нижнего и верхнего), оболочки и пружины. Пружина (из позолоченной струнной проволоки) зажата между двумя плунжерами (из углеродистой стали, покрытой золотом, с добавками бериллия и меди). Вся эта конструкция расположена внутри оболочки (из фосфатированной бронзы, покрытой золотом) [2].

При сборке нижний плунжер поджимается до рабочей высоты, что

позволяет подстроиться под разные высоты стандартных контактных площадок печатных плат. Аналогично поступают с верхней стороной. Верхний плунжер также поджимается до рабочей высоты для обеспечения копланарности устройства. В такой конструкции наконечники плунжеров внутри оболочки (как верхнего, так и нижнего) контактируют со стенкой оболочки, обеспечивая протекание тока по цилиндрическому корпусу. Из-за проблем с копланарностью не все пружинные зонды сжимаются точно до своей рабочей высоты. Поскольку такие плунжеры по-разному контактируют со стенкой оболочки, возникает вариация сопротивления в несколько десятков мОм.



Рис. 1. Внутренняя структура пружинного зонда. Детали цепи формирования сопротивления и используемые в конструкции материалы



Рис. 2. Внутренняя структура зонда со штампованными плунжерами. Детали цепи формирования сопротивления и используемые в конструкции материалы

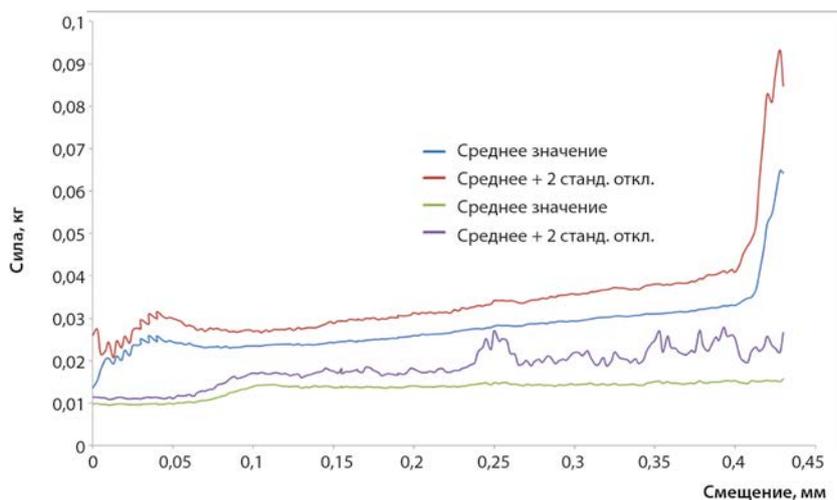


Рис. 3. Зависимости между приложенной силой и результирующим смещением для SS и SBT-зондов

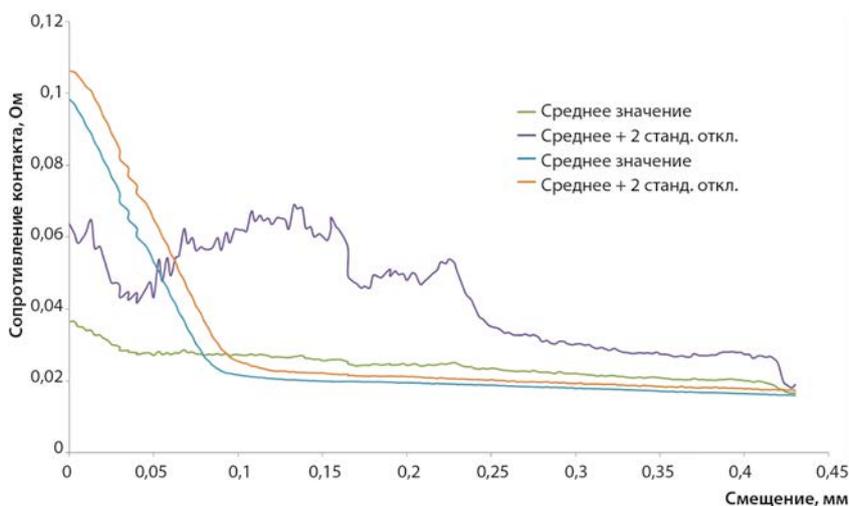


Рис. 4. Зависимости между сопротивлением и смещением для зондов SS и SBT

На рисунке 1 R1 представляет собой переходное сопротивление между выводом устройства и наконечником плунжера, R2 — между верхним плунжером и внутренней стенкой оболочки, R4 — между нижним плунжером и внутренней стенкой оболочки, R5 — между контактом печатной платы и наконечником плунжера, а R3 — общее объемное сопротивление верхнего плунжера, нижнего плунжера и оболочки. Суммарное сопротивление равно $R1 + R2 + R3 + R4 + R5$. Если ток течет по этому пути, изменение сопротивления происходит, в основном, за счет R2 и R4. При сжатии внутренней пружины на определенную высоту сила прикладывается к плунжеру, контактирующему с внутренней стенкой оболочки. Изменение высоты сжатия ведет к изменению силы, что моментально сказывается на величине сопротивления.

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПРУЖИННОГО ЗОНДА

Основная проблема заключается в том, как устранить изменение сопротивлений контактов, вызванное изменением высоты пружин в сжатом состоянии.

В конструкции на рисунке 2 устранено одно из переходных сопротивлений в цепи, а остальные взяты под контроль с помощью двух пружин: внешней пружины сжатия и внутренней пластинчатой пружины. В такой усовершенствованной конструкции нет цилиндрической оболочки, и ток течет от верхнего плунжера к нижнему. В этом случае используется пинч-механизм, скользящий по бороздке между двумя плунжерами. Такой пинч-механизм обеспечивает непрерывность протекания тока между движущимися компонентами при любой высоте пружины в сжатом состоянии.

Сопротивления R2, R4 пружинного зонда в новом зонде заменены одним сопротивлением R2, величина которого также контролируется пинч-механизмом. Недостатком такой конструкции является сравнительно быстрый износ пинч-механизма, что связано с его многократными перемещениями вдоль бороздки. Таким образом, геометрию наконечников пинч-механизма необходимо оптимизировать, чтобы он подходил для работы в устройствах тестирования и проверки полупроводниковых ИС.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проверки того, что новая конструкция работает лучше, чем существующий пружинный зонд, было проведено несколько экспериментов, в ходе которых в одной тестовой установке параллельно тестировались оба типа зондов. Пружинный зонд получил обозначение SS, а новая конструкция — SBT.

СИЛА-ДЕФОРМАЦИЯ-СОПРОТИВЛЕНИЕ

В первом тесте проверялась взаимосвязь между деформацией пружинного зонда, силой и сопротивлением контакта. Для измерения деформации пружинного зонда и приложенной для этого силы использовалась тестовая установка «деформация-сила» (deflection-force, DF). Пружинные зонды (в количестве 36 шт.) закреплялись на тестовом стенде. Тестовый стенд с контактами монтировался на панели, соединенной с тестером, который измерял сопротивление контактов. Другой контакт измерительной цепи был подключен к плунжеру динамометра. Тестирование начиналось с перемещения плунжера динамометра к концу пружинного зонда, после чего плунжер смещался вниз с шагом 0,01 мм. При этом записывались соответствующие значения силы и сопротивления контактов. Такая процедура повторялась для всех 36 пружинных зондов. Аналогичное тестирование было проведено для зондов со штампованными плунжерами. По окончании тестирования были рассчитаны средние и стандартные отклонения. На рисунке 3 показаны зависимости между приложенной силой и результирующим смещением для зондов SS и SBT. Из графиков видно, что по мере увеличения силы растет и смещение.

Для SS-зондов кривая, построенная по средним данным плюс два стандартных отклонения, имеет сглаженный вид, отражающий внутренний коэффициент упругости конструкции с одной пружинной. Для SBT-зондов аналогичная кривая меняется очень неравномерно, что связано с использованием двух пружин: внешней пружины сжатия и внутренней пластинчатой пружины. Это же обстоятельство объясняет гладкий вид кривой, построенной по средним значениям, поскольку в данной конструкции одна пружина компенсирует другую, что очень важно для всей панели, на которую крепится ИС. При этом определяющими являются не отдельные силы, прикладываемые к каждому зонду, а суммарная средняя сила. То, что кривая усредненной силы во всем диапазоне смещений имеет, в целом, гладкий вид, положительно сказывается на работе всей панели.

По мере увеличения силы и роста смещения сопротивление контактов

уменьшается (см. рис. 4). Для SS-зонда кривая среднего сопротивления плюс два стандартных отклонения имеет очень неравномерный вид, что создает множество проблем в устройствах. Поскольку микросхемы не являются идеально плоскими, пружинные зонды в панели сжимаются на разную высоту, что изменяет электрическое сопротивление в каждом сигнальном пути. В свою очередь, это может привести к нарушению передачи сигналов и необходимости повторного проведения тестирования после переустановки ИС.

Для SBT-зондов кривая среднего сопротивления плюс два стандартных отклонения имеет почти гладкий вид с вариациями во всем диапазоне смещений всего в несколько мОм. Величина диапазона смещений выбирается исходя из требований, установленных для конкретного приложения. Например, выберем диапазон смещений 0,2–0,3 мм. Среднее сопротивление контактов в этом диапазоне составляет 20 мОм для SBT-зондов и 30–50 мОм — в случае применения SS-зондов. Эта информация очень важна для специалистов, проводящих тестирование, поскольку большие флуктуации сопротивлений могут привести к необходимости повторного проведения тестирования. Практически постоянное сопротивление контактов в случае использования SBT-зондов помогает избежать ложных отказов и необходимости повторного проведения тестирования после переустановки ИС. Кроме того, SBT-зонды при малых усилиях обеспечивают постоянное низкое сопротивление контактов. Это значит, что при установке микросхем на панель не требуется прилагать большие усилия, что очень важно для последних поколений ИС, реализованных на очень тонких подложках.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Результаты описанного эксперимента были получены в ходе одного цикла изменений. В реальности пружинным зондам за весь срок службы приходится выдерживать несколько тысяч рабочих циклов. Во втором тестировании определялась взаимосвязь между сопротивлением контактов и количеством рабочих циклов за время эксплуатации зондов. В этих экспериментах использовалась автоматизированная установка. 500 зондов были собраны на тестовом стенде. Тестовый стенд с контактами монтировался на панель, соединенную с тестером. Позолоченный имитатор контакта устанавливался на конце плунжера. Экспериментальная установка была отрегулирована таким образом, что конец плунжера мог перемещаться вверх-вниз на 0,3 мм, что соответствовало реальному смещению пружинного зонда.

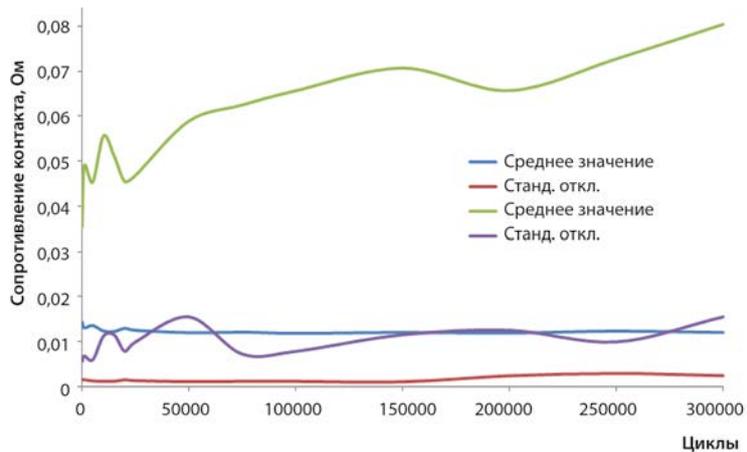


Рис. 5. Зависимость сопротивления от количества рабочих циклов для зондов SS и SBT

Исходное сопротивление измерялось тестером, после чего включалась автоматизированная тестовая установка, которая перемещала плунжер взад-вперед, имитируя циклическую работу пружинного зонда. Цифровой счетчик, встроенный в установку, подсчитывал количество циклов. Для SS-зондов определялись сопротивления контактов при разных интервалах циклов. Такое же тестирование было проведено для SBT-зондов. Результаты тестирования представлены на рисунке 5.

Из графиков видно, что среднее сопротивление контактов в течение 300 тыс. циклов составляет менее 15 мОм. Чтобы получить график распределения данных, были рассчитаны стандартные отклонения. Стандартное отклонение для SBT-зондов в течение всех циклических испытаний не превысило 3 мОм, тогда как для SS-зондов среднее сопротивление контактов в начале циклических испытаний составляло 40 мОм, а в конце — 80 мОм. Стандартное отклонение для SS-зондов находилось в диапазоне 5–15 мОм. Из графиков можно сделать вывод, что SBT-зонды сохраняют постоянное сопротивление контактов на протяжении всего срока службы, что обеспечивает стабильность испытаний микросхем на тестовой установке.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ ПО ТОКУ

Определение допустимой нагрузки по току проводилось для установления максимального тока, который могут выдерживать внутренние соединения, не приводя к выходу из строя всей системы. SBT-зонды собирались внутри тестовой установки и размещались между двумя металлическими пластинами. На поверхность латунных пластин было нанесено покрытие Au-Ni. Использовалась измерительная установка с четырьмя выводами (установка Кельвина), в состав которой входил компьютер, управляющий источником напряжения, а также с источником тока до 10 А.

Падение напряжения на контактах регистрировалось с помощью цифрового вольтметра HP3456A, входящего в установку Кельвина. В ходе тестирования на контакты ИС подавался ток, изменяющийся с шагом 50 мА от нулевого до максимального значения. Из-за низкой теплоемкости реакция контактов была быстрой. Ток менялся с временным шагом 10 с. При определении допустимой нагрузки по току все тестируемые зонды кроме одного были изолированы. Установка для тестирования SBT-зондов была несколько модифицирована для введения термомпары. Ток подавался через тестируемый зонд. После обработки полученных экспериментальных

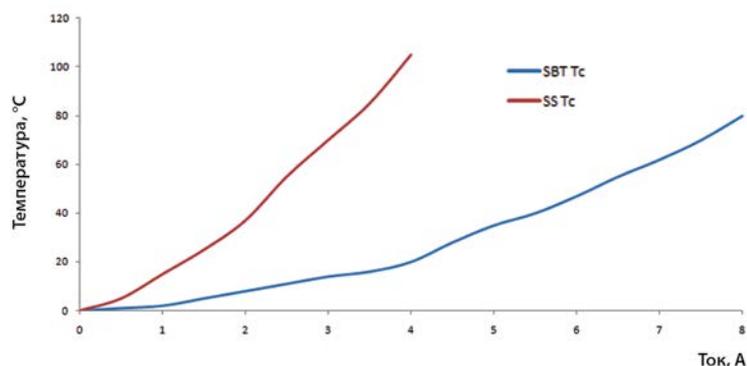
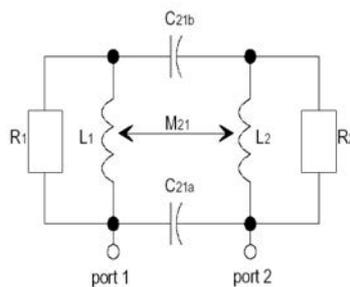


Рис. 6. Зависимость роста температуры от допустимой нагрузки по току для SS и SBT-зондов



L1, L2: собственная индуктивность зонда
 M21: взаимная индуктивность между соседними точечными выводами
 R1, R2: шунтирующие сопротивления катушек индуктивностей L1 и L2, которые используются для моделирования высокочастотных потерь, связанных со скин-эффектом, и диэлектрических потерь
 C21a: взаимная емкость между соседними точечными выводами со стороны печатной платы
 C21b: взаимная емкость между соседними точечными выводами со стороны устройства
 IL: вносимые потери

Рис. 7. Модель эквивалентной схемы

Таблица 1. Динамические характеристики SBT- и SS-зондов

Зонды	Данные для SBT-зондов				Данные для SS-зондов			
	Поле	Край	Диагональ	Угол	Поле	Край	Диагональ	Угол
L1, L2, нГн	1,24	1,34	1,24	1,58	2,2	2,3	2,2	2,4
M21, нГн	0,17	0,31	0,05	0,38	0,3	0,4	0,09	0,3
R1, R2, Ом	1000	1500	1000	800	700	700	700	700
C21a, пФ	0,025	0,032	0,004	0,063	0,03	0,04	0,005	0,05
C21b, пФ	0,055	0,064	0,008	0,067	0,06	0,09	0,01	0,05
IL, ГГц	12	14,3	–	11,8	9,5	10	–	9

данных по напряжению были построены зависимости сопротивления и рассеяния мощности от подаваемого тока. Второй цифровой измеритель регистрировал температуру с помощью небольшой термопары (0,010"), расположенной рядом с центром тестируемого зонда. Рост температуры фиксировался с помощью термопары в непосредственной близости от тестируемого зонда. Это значит, что показания термопары были несколько ниже температуры внутри зонда. На рисунке 6 видна существенная разница между зондами SS и SBT по допустимой нагрузке по току.

Из рисунка ясно видно, что SBT-зонды, в отличие от SS-зондов, могут выдерживать больший ток при минимальном увеличении температуры. Это достоинство SBT-зондов связано с геометрией их конструкции, в которой два токопроводящих компонента представляют собой твердотельные прямоугольные элементы, тогда как в SS-зондах основным компонентом является цилиндрическая оболочка с гораздо меньшим поперечным сечением. Это обстоятельство напрямую определяет, какой ток может выдержать конструкция без ухода температуры за пределы рабочего диапазона.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Следующее тестовое испытание позволило определить, какие из соединительных приспособлений могут передавать быстроизменяющиеся сигналы без потерь. Пружинные зонды монтировались на специальную плату с малыми паразитными потерями, позволяющую использовать копланарные зонды (для тестирования соседних выводов). Тестируемый чип со стандартной разводкой для измерений устанавливался на эти зонды сверху. Такая схема

позволяет проводить измерения при трех положениях зондов (разомкнутом, короткозамкнутом и проводящем). Для построения SPICE-совместимой модели эквивалентной схемы было использовано программное обеспечение Hewlett-Packard MDS (MDS — система проектирования СВЧ-схем).

Для проведения данной работы был использован режим калибровки с точно согласованной нагрузкой (LRM). Измерительный щуп Pico-probe обеспечивал в ходе тестирования высококачественное согласованное 50-Ом соединение устройства с анализатором. Такое же тестирование было проведено для SBT-зондов. Результаты тестирования представлены в таблице 1. Полоса частот для внутренних соединений определялась в ходе измерений на двух соседних точечных выводах. Ближайшие ряды выводов заземлялись.

Для SBT-зондов полоса частот при вносимых потерях в 1 дБ превышает 12 ГГц, а для SS-зондов — 9 ГГц. Собственная индуктивность (L1 и L2) SBT-зонда находится в диапазоне 1,24–1,58 нГн, а SS-зонда — 2,2–2,4 нГн. Большая полоса частот и меньшая индуктивность SBT-зонда по сравнению с SS-зондом даже при их одинаковой длине обусловлена прямоугольным поперечным сечением проводников. Взаимная индуктивность и емкость между соседними зондами аналогична у обоих типов зондов. SBT-зонды продемонстрировали лучшие результаты в ходе тестирования быстродействия по сравнению с SS-зондами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании устройств с высокой степенью интеграции необходимо контролировать стоимость разработки. С этой целью оптимизируются существующие производственные мощности, и минимизируется время выхода готовой

продукции на рынок, что обеспечивает путь повышения надежности тестирования и исключения выхода из строя тестовых установок. Приведенные в этой статье результаты исследования двух типов соединительных приспособлений, используемых в тестовых системах, позволяют решить огромное количество проблем при разработке быстродействующих высокоинтегрированных приложений. Результаты тестирования позволяют сравнить механические и электрические характеристики двух типов зондов:

- зонды со штампованными плунжерами обеспечивают более стабильное сопротивление контактов по сравнению с пружинными зондами;
- изменение сопротивлений контактов у зондов со штампованными плунжерами составляет менее 3 Ом;
- зонды со штампованными плунжерами выдерживают большую нагрузку по току, что связано с прямоугольным поперечным сечением проводников с током;
- зонды со штампованными плунжерами обладают более широкой полосой частот по сравнению с пружинными зондами, что позволяет использовать первые для передачи высокочастотных сигналов.

В зондах со штампованными плунжерами из конструкции исключена цилиндрическая оболочка, а из электрической цепи — одно из переходных сопротивлений. Пинч-механизм между двумя твердотельными плунжерами штампованных зондов обеспечивает непрерывное протекание тока между движущимися компонентами при любой высоте сжатия. Это гарантирует надежность проведения тестовых испытаний и исключает необходимость в повторном тестировании. Поскольку эта технология позволяет сократить время отработки ИС до их выхода на рынок, необходимо, с одной стороны, внедрять ее в промышленность, а, с другой стороны, разрабатывать новые революционные стандарты внутренних соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. C.A. Harper. *Electronics Packaging and Interconnection Handbook, second edition*. McGraw-Hill. 1997.
2. I. Pal. *Evaluating Technologies for Testing High Speed High Density Ball Grid Array Packages*. Pan Pacific Microelectronics Symposium. 2004.
3. R.S. Mroczkowski and J.M. Maynard. *Estimating the Reliability of Electrical Connectors*. IEEE Trans. on Reliability. 1991.
4. G. Otonari. *Giga Test Labs — Spring Probe Interconnector Test Report*. May. 2006.
5. B.L. Hart. *Digital Signal Transmission Line Circuit Technology*. Van Nostrand Reinhold. New York. 1988.
6. H.W. Johnson and M. Graham. *High-Speed Digital Design: A Handbook of Black Magic*. Prentice Hall PTR. 1993.

| ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ДОЛОМАНТ» НА ВЫСТАВКЕ «НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» | Компания «ДОЛОМАНТ» представила последние разработки и продемонстрировала расширенные возможности производственных услуг на выставке «Новая электроника», прошедшей в конце марта в Москве.

Работа на стенде НПФ «ДОЛОМАНТ» была выстроена согласно двум основным направлениям деятельности компании: контрактное производство и заказные разработки. В рамках первого на открытых проектах были продемонстрированы возможности предприятия работать с нестандартными и уникальными изделиями, успешно проходить с заказчиками этапы НИОКР, постановки на серийное изготовление и полное производственное обеспечение жизненного цикла «сложной и ответственной электроники».



Главными экспонатами стенда, не имеющими аналогов и раскрывающими возможности и уровень предлагаемых услуг «ДОЛОМАНТ», стали наиболее интересные проекты, реализованные для российских заказчиков:

- гибкая 6-слойная 15-м печатная плата без наращиваний с уникальными характеристиками (для авиакосмической, оборонной и транспортной отраслей) — технологически проработан монтаж компонентов, в наличии — тестирование качества;
- магистральный IP-шифратор с функциями обеспечения защиты данных — имеются 4 релиза (модернизации) при непрерывном выпуске; в 2013 г. стартовала НИОКР над более «мощной» версией изделия;
- основной блок и периферийные удаленные модули системы безопасности движения узловых ж/д станций имеют встроенные процессорные модули разработки «ДОЛОМАНТ» и модули разработки заказчика, сертифицированы и эксплуатируются на ж/д транспорте РФ с 2006 г., выпускаются по сей день.

Представленные образцы поддерживаются в производстве и постоянно модернизируются в соответствии с требованиями конечного потребителя и изменениями на рынке комплектующих, имеют безусловную стопроцентную гарантию производителя. Проходят периодические испытания серийных образцов. Исследуются и исключаются причины выхода изделий из строя при эксплуатации.

В области заказных разработок дизайн-центр «ДОЛОМАНТ» представил образцы COM-модулей и спецвычислителей на их основе. Из новинок посетителей стенда заинтересовал CPB907 — процессорный модуль стандарта COM-Express Type 10 с масштабируемой производительностью Intel Atom E6xxT, компактными размерами (55x84 мм) и расширенными видеофункциями.

Пример заказной разработки спецвычислителя на базе COM-модулей демонстрировала плата BK01 формата 6U для применения в АСУ электровоза. Изделие было оперативно реализовано по ТЗ заказчика на основе компьютерного модуля CPB904 и уже в течение нескольких лет поставляется серийно.

Привлекал внимание к стенду и высокопроизводительный бортовой компьютер MK1301 со степенью защиты IP65, созданный для заказчиков ОПК на базе модуля CPC1301. Все накопители изделия (Compact Flash и опционально — SSD-диск) — твердотельные, благодаря чему компьютер может эксплуатироваться даже на бронетехнике. Изделие совместимо с ОС Windows XP, QNX 6.4, Linux 2.6 и MCVC 3.0.

Ведущие специалисты «ДОЛОМАНТ» предоставили квалифицированные консультации гостям стенда, предложили наиболее удобные форматы сотрудничества. С потенциальными клиентами велось активное обсуждение организационных и ценовых вопросов.

www.dolomant.ru

Проблемы качества. Точка зрения Остека

При взгляде на любую проблему всегда хочется найти общий критерий оценки, позволяющий сравнивать разные точки зрения, отбросив мелкие частные расхождения. Для оценки качественных возможностей производств изделий электронной техники можно использовать соотношение стоимостей собственно технологического сборочного оборудования и оборудования контрольного и тестового.

По меркам сегодняшнего дня, его стоимость не должна уступать стоимости технологического оборудования. На высокотехнологичном производстве это соотношение может достигать даже значения 30/70. В настоящее время контроль качества и тестирование оборудования перестали быть дополнительными операциями, превратившись в полноправных участников производственного процесса. Об этой стороне производства рассказал Андрей Насонов, начальник отдела электрического контроля Группы компаний Остек.



— С чего начинается контроль качества — с входного контроля?

— Сначала остановимся на общих моментах, касающихся тестирования. Коснемся и входного контроля — сегодня это одна из болевых точек. Во всяком случае, на наших семинарах словосочетания «контрафактная продукция», «входной контроль» вызывают самую бурную реакцию.

В наши дни уже очевидно, что качество выпускаемой продукции зависит не только от технологического оборудования, но и от средств контроля и тестирования. Более того, по опыту общения с нашими зарубежными партнерами могу сказать, что в условиях современного производства для выпуска качественной продукции необходимо, чтобы стоимость технических средств для контроля качества была не меньше, а в некоторых случаях и больше стоимости технологического оборудования! Увы, в российских условиях в подавляющем большинстве случаев это соотношение не соблюдается.

— Если стоимость оборудования тестирования и контроля должна не уступать или даже превосходить стоимость технологического оборудования, смогут ли российские контрактные производители позволить себе приобрести такое оборудование? Не удорожит ли это процесс производства?

— Вы затронули серьезный вопрос о контрактных сборщиках. В настоящее время прослеживается тенденция, когда заказчики, в т.ч. российские, уходят к иностранным контрактным производителям. Когда мы стали выяснять причину этого явления, оказалось, что термин «контрактная сборка» у нас и за рубежом понимается по-разному.

У отечественных контрактных производителей, как правило, отсутствует полный спектр тестового оборудования, применение которого гарантирует качество изделия. Да, у некоторых из них имеются установки рентгеновского контроля, но практически ни у кого нет средств автоматического электрического тестирования. Другими словами, российский контрактный производитель, отправляя заказчику, например, печатную плату в сборе, не гарантирует ее работоспособности! Таким образом, тестирование заказанного изделия перекладывается на плечи заказчика.

У зарубежных контрактных сборщиков ситуация иная — они гарантируют качество поставляемой продукции. Те же китайские производители, на которых мы любим кивать при всяком удобном и неудобном случае, поставляют полностью проверенные изделия и гарантируют его работоспособность. У зарубежных сборщиков каждый этап, каждое звено производственно-экономического процесса имеет на выходе, после завершения какой-либо технологической операции, показатель качества.

— Каким образом в договоре, в техническом задании отражаются требования к качеству изделия?

— В техническом задании подробно описаны требования к качеству продукции и его критерии оценки. Разумеется, если речь идет о функциональном тестировании, то программу испытания предоставляет заказчик. При заключении договора между заказчиком и производителем оговаривается уровень качества и используемые технологии тестирования.

Производитель предлагает заказчику огромный спектр услуг, в т.ч. метро-

логическую экспертизу, аттестацию готового изделия или какого-либо его узла. Конечно, все эти услуги закладываются в цену изделия.

— Зачастую испытания изделия — процесс непростой и дорогостоящий. Существуют ли компании, специализирующиеся на тестировании и испытании?

— В России таких компаний, к сожалению, нет, а за рубежом они есть. Это так называемые тест-хаусы (от англ. Test House). И они очень востребованы. Дело в том, что некоторые виды испытательного оборудования весьма дорогостоящи, и потому иметь такое оборудование сборщику часто невыгодно. В то же время в тест-хаусе оно простаивать не будет и сможет окупиться.

Кроме того, некоторые контрактные сборщики не имеют всего необходимого тестового оборудования и потому проводят испытания в тест-хаусе. Но подчеркнем, что в этом случае за качество изделия перед заказчиком отвечает по-прежнему контрактный сборщик.

Тест-хаусы занимают довольно-таки большой сегмент рынка в денежном исчислении, и они обязательно появятся в России. Они не могут не появиться — таковы требования рынка. И инвестиции в этот сегмент сейчас были бы вполне уместны. Речь идет не только о тест-хаусах, но и обо всех компаниях, которые обеспечивают производство качественной продукции. И вот тут мы возвращаемся к началу нашей беседы, к входному контролю.

— Вы хотите сказать, что есть компании, специализирующиеся на входном контроле?



НАПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ

через

лет

Затраты на поиск и локализацию технологических дефектов вырастут на порядок.

Решения
по их снижению
мы предлагаем
уже сегодня.

УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ



С ростом сложности радиоэлектронной продукции растет и цена каждой ошибки в ее производстве. Компенсировать эту цену можно только снижением вероятности технологических ошибок и дефектов. Мы предлагаем решения в сфере электрического контроля для различных отраслей, включая производство электронных компонентов, электронной техники, а также электротехнической, авиационной и автомобильной промышленности и других смежных областей. Каждое из них базируется на глубоком анализе производства и изделия заказчика в разрезе не только текущих задач, но и перспектив развития.



ostec

БУДУЩЕЕ СОЗДАЕТСЯ

РЕКЛАМА

тел.: (495) 788-44-44
www.ostec-electro.ru

— Не совсем так. За последнюю пару лет за рубежом сократилось число дистрибьюторов, занимающихся только поставкой компонентов. На их место пришли компании, проводящие перед поставками специальное тестирование. Только такие компоненты и отправляются заказчику. Сегодня при поставке компонентов важным конкурентным преимуществом является не столько их стоимость и сроки поставки, сколько возможности имеющегося у поставщика тестового оборудования и уверенность заказчика в качестве поставляемой продукции.

При работе с такими компаниями в договоре помимо обычных требований — сроков, стоимости, количества — оговариваются уровни тестирования компонентов, требования по долговременности поставок и юридическая ответственность поставщика. Разумеется, при этом стоимость комплектующих увеличивается.

— Другими словами, на плечи дистрибьюторов перекладывается борьба с контрафактной продукцией?

— В настоящее время проблема контрафактной продукции столь остра, что дистрибьюторы понимают необходимость предоставления новых сервисов, связанных с тестированием компонентов. В конце концов, это требование рынка. Реальность такова, что даже среди компонентов, поставляемых официальным дистрибьютором, доля контрафактной продукции достигает 7%. У независимых поставщиков эта цифра еще выше: 20–30% (данные NASA). И тут бесполезно жаловаться — требуется найти технические меры борьбы с контрафактной продукцией. Только законодательными мерами эту проблему не решить.

Российским поставщикам рано или поздно придется перенимать такой подход. Для нашего рынка характерны малые объемы поставки электронных компонентов. Но ни один крупный производитель не занимается мелкосерийными поставками. Поэтому дистрибьюторы вынуждены брать продукцию с промежуточных складов, где велик риск приобретения контрафакта.

Сегодня все понимают, что традиционные методы входного контроля, прописанные в т.ч. в стандартах ISO, устарели. Верить только документации уже нельзя. Нельзя и просто проверить параметры компонентов на соответствие заявленным в документации. Современные контрафактные компоненты, как правило, удовлетворяют этим требованиям. От оригинальных компонентов они могут отличаться в худшую сторону на пределах рабочих диапазонов, а также при долговременной эксплуатации: например, если ори-

гинальный компонент сохраняет рабочие параметры в течение всего срока службы, то у контрафакта эти параметры могут «уплыть» за несколько лет до окончания этого времени. Требуются технологические методы контроля, основанные на электрическом тестировании. Технические средства, реализующие эти методы, уже производятся. Есть они и в России.

— Расскажите подробнее об этих технологиях.

— Это сложные методы контроля, которые невозможно описать в двух словах. Скажу лишь, что в них обыгрываются технологические тонкости изготовления компонента. По незначительному разбросу параметров, которые могут даже и не документироваться производителем, можно установить принадлежность компонентов. Мы проверяли и убедились, что с помощью этих методов можно различить одинаковые компоненты, полученные от разных производителей. Причем, эти методы применимы ко всем компонентам, начиная с простейшего резистора и заканчивая сложным процессором.

Казалось бы, зачем применять столь сложные и дорогостоящие методы для контроля тех же резисторов? Но! Даже если их номинал, маркировка и т.д. соответствуют всем требованиям, резистор может оказаться подделкой и не выдержать, допустим, процедуры оплавления в печи. Выходит, проверять надо после монтажа.

Изделия электронной техники усложнились. Усложнились и производственные технологии. Соответственно, претерпели изменения и методы входного контроля. Повторюсь, традиционные методы уже не работают, т.к. изменилось само представление о входном контроле. Можно утверждать лишь одно: на любом производстве все компоненты и материалы, входящие в изделия, на том или ином этапе технологического процесса должны быть протестированы.

— Допустим, все меры предосторожности соблюдены. Можно ли в этом случае рассчитывать на бездефектное производство?

— Нет, нельзя. Электронные изделия функционально все более усложняются. Производятся многослойные печатные платы с множеством проводников. В то же время ни один проводник, ни одно паяное соединение не гарантирует абсолютной надежности. Их надежность очень высока, но все же не равна 100%. Когда в изделии таких проводников и соединений многие десятки тысяч, нет ничего удивительного в том, что среди готовых изделий

окажутся бракованные. Законы теории вероятности еще никому не удалось обмануть. Это обстоятельство тоже заставляет производителей увеличивать затраты на оборудование для тестов и ремонта.

Однако одним только увеличением сложности тестового оборудования не обойтись. Бездефектность производства должна закладываться еще на этапе проектирования. Я говорю о тестопригодном проектировании, которое выполняется с учетом производственных технологий. И вновь я вынужден сравнивать российские реалии с зарубежными.

В России техническое задание (ТЗ) на изделие содержит в общем виде следующие разделы: название, технические требования к изделию, условия эксплуатации. В зарубежных компаниях помимо этих основных разделов задаются также серийность изделия; перечисляется технологическое оборудование, которое должно быть задействовано при изготовлении; методы тестирования на разных этапах и т.д.

Такой подход устраняет многие проблемы из тех, что возникают при передаче документации в производство и исключает никому не нужный героизм на этом этапе. Порой, слышишь такую точку зрения: мы разработали замечательное изделие — на столе оно работает; производите, как хотите. Таким образом, освоение изделия в производстве затягивается, качество изделия снижается, в результате чего продукция появляется на рынке с опозданием и не самого лучшего качества. Найдет ли серьезный спрос подобное «гениальное» изделие на рынке? Думаю, нет.

— До сих пор мы говорили о качестве вновь произведенных изделий. Но достаточно ли всех перечисленных мер, чтобы быть уверенным в том, что и к концу срока службы это качество сохранится?

— Нет, недостаточно. Все перечисленные выше меры, в т.ч. функциональный контроль, не могут гарантировать работоспособности изделия в дальнейшем. Для этого необходимо использовать т.н. внутрисхемное тестирование. За рубежом этот метод тестирования уже записан во все стандарты. Это прогностический метод, способный предсказать появление дефектов.

Следует еще учесть то обстоятельство, что очень трудно, если вообще возможно, проверить сложное изделие только с помощью функционального контроля. Для этого необходимо воспроизвести все возможные сочетания условий работы, которые подчас попросту учесть нельзя. В результате изделие может выйти из производства

с дефектом. Причем, этот дефект проявиться может не сразу, а спустя какое-то время после начала эксплуатации. Да и проявляться он может не всегда, а лишь при сочетании определенных условий. Это т.н. «плавающий отказ», который попортит немало крови при его поиске. Опытные инженеры знают, о чем идет речь. И в этом случае внутрисхемное тестирование поможет избежать подобных неприятностей.

— Значит ли это, что прежние ускоренные методы испытания на надежность устарели?

— Внутрисхемное тестирование постепенно вытесняет эти методы. То же термоциклирование или испытания при повышенном напряжении и другие методы, использующие экстремальные условия, имеют ряд недостатков. Во-первых, они, мягко говоря, не улучшают надежности изделия. Во-вторых, на основе этих испытаний делаются довольно умозрительные выводы — дескать, раз изделие не сгорело при повышенном напряжении, то при нормальном напряжении оно будет надежно работать. Довольно-таки спорные выводы, согласитесь. В то же время внутрисхемное тестирование дает существенно более достоверный прогноз. Дело в том, что внутрисхемное тестирование — это полная структурная проверка изделия на соответствие конструкторской документации. К тому

же технические средства для внутрисхемного тестирования стоят значительно меньше комплекта климатических камер, камер влажности и т.д.

Конечно, речь идет только об электронной части изделия. Никакое внутрисхемное тестирование не заменит испытания прочности механических соединений.

— Где и как обучиться работе со сложным и дорогим оборудованием для контроля качества?

— За рубежом есть специальность — тестовый инженер. В наших ВУЗах, к сожалению, таковая отсутствует. Мы сами обучаем персонал предприятия работать на поставляемом нами оборудовании. Это длительный процесс, но без него не обойтись. Иначе просто нет смысла приобретать это оборудование. Сегодня уже многие российские компании понимают необходимость приобретения подобного оборудования. Таковы требования рынка.

— Мы много говорили о качестве, о бездефектном производстве. А что такое дефект, отказ? Можно ли дать точное определение?

— Стандартного понятия «дефект» не существует. Конечно, есть простейшие случаи — кнопку нажал, а ничего не работает — тут все ясно. Можно использовать известную формулировку:

«Отказом считается несоответствие изделия заявленным параметрам». Это очень удобная формулировка из числа тех, что подходят для любых случаев. А как быть, если срок службы 25 лет, а на 24 году параметры изделия вышли за пределы нормы? Строго говоря, это событие тоже должно считаться отказом, хотя изделие продолжает оставаться работоспособным.

Известны случаи, когда ведущие мировые автопроизводители десятками тысяч отзывают свои автомобили для изменения конструкции, т.к. дефекты проявляются и после нескольких лет эксплуатации. Как правило, если речь идет о дефектах электроники, в таких случаях автопроизводители становятся жертвами компаний-поставщиков того или иного блока или компонента. Причем, контроль качества и применение методов тестирования в этих компаниях далеки от идеала. Известны громкие скандалы из-за отказа серии компьютеров, вызванного бракованными конденсаторами.

Я привел эти примеры, чтобы лишь раз подчеркнуть необходимость внедрения современных методов испытания и тестирования, в т.ч. методов внутрисхемного контроля. Лишь использование всех этих методов позволит быть уверенным в качестве продукции.

Интервью подготовил Леонид Чанов

НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ



ПРИБОРНЫЕ ПАНЕЛИ TREPORT ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ХОДЕ ПРОИЗВОДСТВА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ | Новое программное обеспечение, созданное в Группе компаний Остек ее подразделением ЗАО «Остек-Инжиниринг», представляет собой базовую оболочку для работы с пополняемым набором графических отчетов. Источником информации для отчетов служит база данных программно-аппаратного комплекса ОМЕГА-ОСТЕК.

Каждый отчет представляет собой виртуальную графическую приборную панель (dashboard), которая отражает заранее определенный набор параметров, характеризующих ход производственного процесса. Исходные параметры задаются для каждого индивидуального отчета (номер партии, номер изделия, список изделий, темп обновления и др.) и могут быть сохранены в файле вместе с последними отображенными данными. Информация на приборной панели изменяется синхронно с возникновением изменений в базе данных. В

каждом отчете имеется индикатор, показывающий актуальность отображаемых данных. Программная оболочка TReport может работать и автономно (без подключения к базе данных) в режиме отображения отчетов, сохраненных в файлах.

Поскольку в системе ОМЕГА-ОСТЕК реализован механизм прослеживаемости каждого изделия, в текущий момент времени можно получить отчет о состоянии любого из изделий (по штрих-коду его индивидуального номера).

В зависимости от потребностей заказчика программная оболочка TReport поставляется с требуемым набором форм отчетов. Возможно создание нестандартных форм с использованием имеющихся в наличии экранных инструментов индикации. Реализованный механизм связи с источником данных позволяет путем замены драйвера подключать приборные панели TReport к любым информационным системам.

www.ostec-group.ru

Покрyтия с малой поверхностной энергией переписывают правило отношения площадей

РИКИ БЕННЕТ (RICKY BENNETT), Assembly Process Technologies
ЭРИК ХЭНСОН (ERIC HANSON), Aculon

Высокая плотность расположения элементов в современных электронных устройствах усложняет поверхностный монтаж. Для равномерного нанесения требуемого объема пасты используются различные методы, к которым относится локальное вытравливание ступенек на трафарете для целевого устройства, применение гладкостенных никелевых трафаретов, изготовленных с помощью гальванопластики, лазерная резка новых материалов для трафаретов. В статье рассматриваются факторы, определяющие процесс нанесения пасты, и влияние на печать свободной поверхностной энергии (СПЭ) материала трафарета.

ОТНОШЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

При расчете апертуры (отверстий) современных трафаретов все чаще в качестве базового используется показатель соотношения площадей в соответствии со стандартом IPC 7525B. Значение 0,66 — пороговое, обеспечивающее надежное отделение пасты с трафарета. Этот показатель, который также называют эффективностью нанесения пасты, определяет процент паяльной пасты, отделяющийся от апертуры, по отношению к ее теоретическому (не фактическому) размеру. Эффективность нанесения пасты рассчитывается как отношение площади отверстия к площади его стенок.

Соотношение более 80% в отрасли принято считать хорошим показателем. Мы подробно изучили соответствующие источники, но не смогли установить, на чем основан этот вывод.

Почти все указанные в этих источниках данные были получены, начиная с 1990-х гг. Справедливость ранее сделанных выводов следовало бы экспериментально проверить на современных материалах и технологиях, включая методы заполнения апертуры с помощью ракелей уникальных и новых форм, нанесения пасты трафаретами со специфическими кромками, а также использование трапециевидных апертур, вырезаемых современными лазерами.

Как станет ясно из последующего обсуждения, в каждом отдельном процессе для точного расчета эффективности нанесения пасты требуется более сложная формула.

ЗАПОЛНЕНИЕ АПЕРТУРЫ

Формула отношения площадей предполагает 100% заполнение отверстия, что достигается за счет сочетания типа ракеля (угла атаки, гибкости лезвия и т.д.), скорости печати, а также состава паяльной пасты. Опубликовано множество статей, посвященных вопросам эффективного заполнения апертуры, однако проверка того, что все отверстия были заполнены на 100% до отрыва трафарета, как правило, не проводилась.

Мы проанализировали результаты исследований, целью которых было установить, как увеличить эффективность нанесения пасты в зависимости от угла атаки или материала ракеля, покрытий кромки, а также от использования ультразвуковых и вибрирующих ракелей. Следует заметить, что заполнение полостей большим количеством вещества может ухудшить эффективность использования трафарета. Принудительное заполнение апертур или недостаточное прилегание трафарета приводит к растеканию флюса по краям отверстий. Применение новых покрытий улучшает перенос флюса на контактные площадки и уменьшает его накопление на поверхности трафарета. В результате он реже протирается чистящими салфетками.

SMDP И NSMDP

Недавно было проведено исследование того, как влияет эффективность нанесения пасты на контактные площадки, которые выполнены вскрытием маски точно в их размер (solder mask defined pad, SMDP), а также на пло-

щадки, полностью вскрытые паяльной маской (non-solder masked defined pad, NSMDP). С нашей точки зрения, эффективность переноса может быть связана с дополнительной энергией поверхности большей площади в методе SMDP по сравнению с NSMDP.

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Нанесение паяльной пасты на печатную плату через трафарет является чрезвычайно сложным процессом с точки зрения химических процессов на поверхности и границе сред. Успешная печать паяльной пасты через отверстия трафарета зависит от многих явлений. Некоторые из них определяются химическим взаимодействием на границе двух сред, а не свойствами материала. Приведем перечень свойств, связанных с поверхностью, которые оказывают влияние на трафаретную печать и адгезию.

1. Химический состав поверхности трафарета, особенно той стороны, которая обращена к печатной плате, и боковых граней отверстий трафарета.
2. Химический состав поверхности, на которую производится печать.
3. Химический состав флюса.
4. Химический состав шариков припоя (обычно ее можно игнорировать, если размер частиц превышает 1 мкм).
5. Поверхностное натяжение состава флюса.
6. Наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ).
7. Полная площадь контакта поверхности трафарета с паяльной пастой.

8. Полная площадь контакта пасты с поверхностью, участвующей в печати.
9. Топография/шероховатость поверхности.
10. Гравитация.

Следует заметить, что под термином «свободная поверхностная энергия» подразумевается химия поверхностных явлений. Молекулы и атомы взаимодействуют друг с другом различными способами, включая ковалентные, ионные, водородные и ван-дер-ваальсовы связи, и именно эти взаимодействия определяют не только объемные свойства материалов, но и характеристики их поверхностей. Притяжение или отталкивание между молекулами паяльной пасты и поверхности платы можно считать результатом соотношения этих сил. Другими словами, эти силы отвечают за химическое взаимодействие поверхностей и материалов в целом. Чтобы понять, как оно определяет нанесение паяльной пасты на печатную плату, рассмотрим каждый из перечисленных факторов отдельно друг от друга, а затем учтем их влияние в общей совокупности, что позволит делать правильный выбор материалов.

ПУНКТЫ 1–6. ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Взаимодействие жидкого (или полутвердого) материала с твердой поверхностью определяется упомянутыми силами. В первую очередь, проанализируем, как они регулируют взаимодействие паяльной пасты с различными материалами. Рекомендуем с этой целью воспользоваться превосходным справочником по смачиванию жидкостями поверхностей [1]. Рисунок 1 иллюстрирует печать пасты на поверхность печатной платы. На нем представлены силы, контролирующие поведение паяльной пасты при ее нанесении.

Сначала проанализируем свободную поверхностную энергию всех компонентов системы. В качестве примера рассмотрим медную площадку. Оценки СПЭ различных компонентов этой системы, а также нескольких подложек с малой поверхностной энергией представлены в таблице 1. Следует заметить, что СПЭ меди и нержавеющей стали ниже, чем можно было бы ожидать. СПЭ оксидов металлов, как правило, составляет не менее 70 дин/см², однако почти все поверхности в типичной лабораторной среде быстро загрязняются, в результате чего этот показатель уменьшается [2].

На поверхностях металлов, обработанных такими органическими материалами как смазочно-охлаждающие жидкости, растворы для травления, флюсы, а также контактировавших с

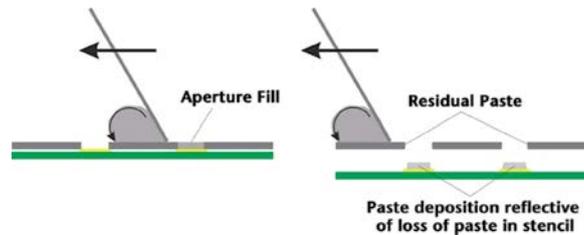


Рис. 1. Печать паяльной пасты на печатную плату

Aperture fill — заполнение отверстия; Residual paste — остатки пасты; Paste deposition reflective of loss of paste in stencil — нанесение пасты на плату соответствует «потере» пасты в трафарете

пальцами и даже пластификаторами из упаковки, имеется много трудноудаляемых загрязняющих веществ. Из-за этих загрязнителей коэффициент смачивания большинства металлических поверхностей, не подвергнутых специальной обработке, схож с показателем углеводородных соединений.

Поскольку органические флюсы изготавливаются, главным образом, на основе углеводородов, они легко распределяются по всем поверхностям кроме поверхностей с очень малой СПЭ, например фторопластов. Это связано с тем, что углеводородные молекулы взаимодействуют посредством слабых ван-дер-ваальсовых сил и притяжение между ними относительно небольшое. У гексадекана (хорошего заменителя органических флюсов) поверхностное натяжение составляет около 27 дин/см, а его угол смачивания не превышает 10° (очень хорошее смачивание) на всех материалах, начиная с оксидов металлов и заканчивая полипропиленом. Кроме того, под действием силы жидкости с малым поверхностным натяжением легче разделяются на капли, чем жидкости с высоким поверхностным натяжением.

Сравнивая показатели СПЭ материалов из таблицы 1, можно предположить, что, скорее всего, паяльная паста переносится на все поверхности схожим образом. Если для крупных отверстий перенос малого количества пасты достаточно прост, он значительно усложняется при соотношении площадей менее 0,66. До настоящего времени фторуглеродные пленки остаются единственным материалом, на котором жидкие углеводороды самопроизвольно не растекаются. Способность фторуглеродов отталкивать молекулы других веществ объясняется их крайне неполярным поведением на молекулярном уровне. В то время как высокая электроотрицательность фторопласта по сравнению с относительно низкой электроотрицательностью углерода обеспечивает плотное распределение электронов вдали от центра масс каждого сегмента CF₂, в перфторуглеродах (-[CF₂]_n-) электрические поля всех локальных диполей в молекуле, как правило, взаимно компенсируют друг

друга [3]. Кроме того, из-за огромной разницы в электроотрицательности углерода и фтора имеется некоторая предрасположенность к созданию временных биполярных связей между соседними молекулами. Хотя паяльная паста является гораздо более вязкой, чем органический растворитель, она все же лучше отталкивается от обработанных фтором поверхностей, чем от необработанных.

Однако неправильно учитывать только значение свободной энергии поверхности, чтобы определить степень гидрофобности конкретного покрытия. Следует также принимать во внимание природу материала, контактирующего с поверхностью, его способность химически взаимодействовать с ней или образовывать ПАВ-подобные слои на границах раздела. Паяльные пасты, как правило, содержат восстанавливающие реагенты, которые используются для удаления поверхностных оксидов в процессе пайки, чтобы между металлами припоя и дорожками печатной платы возникало интерметаллическое соединение [4]. Хотя эти реагенты и разработаны для применения в условиях сравнительно высоких температур, они вступают в реакцию с оксидами металлов и при низких температурах, но с меньшей скоростью. Если на поверхность трафарета нанесена фторуглеродная пленка, он устойчив к непрерывному контакту с восстановителем из флюса в течение

Таблица 1. Показатели СПЭ разных компонентов системы

Подложка	Поверхностная энергия, дин/см ²
Нержавеющая сталь (чистая)	> 70
Нержавеющая сталь (загрязненная*)	30–40
Медь (чистая)	> 70
Медь (загрязненная*)	30–40
Никель (чистый)	> 70
Никель (загрязненный*)	30–40
Отвержденная аминоподобная эпоксидная смола	40–50
Полипропилен	~ 30
Тефлон	18–24
Самособранные монослои фторуглерода	14–20

* Поверхностная энергия загрязненных поверхностей зависит от природы загрязнителя.

продолжительного времени. В противном случае пленка вытравливается с поверхности. Если фторуглеродная пленка тонкая (< 1 мкм), оксиды металлов под ней должны быть устойчивы к химическому воздействию восстанавливающих реагентов, т.к. в очень тонких пленках неизбежно образуются отверстия (или возникает молекулярная диффузия через этот слой).

Иногда поверхностно-активные вещества используются для уменьшения поверхностного натяжения и СПЭ пасты припоя для более равномерного смачивания поверхности [5]. При этом ПАВ могут существенно разрушить даже фтористую пленку за счет значительного уменьшения поверхностной энергии, или натяжения. Фтористые ПАВ позволяют почти гарантированно добиться хорошего смачивания составов на фторированных поверхностях. Мы считаем, что разработчикам паяльных паст, желающим достичь высокой точности печати с помощью трафаретов с обработанной поверхностью, возможно, придется отказаться от использования поверхностно-активных веществ по указанным выше причинам. Также не следует применять агрессивные восстанавливающие составы во избежание повреждения оксида металла, находящегося под пленкой на поверхности трафарета.

ПУНКТЫ 7–10. ПЛОЩАДЬ ПОВЕРХНОСТИ И СИЛА ТЯЖЕСТИ

Очевидно, при печати следует учитывать отношение контактирующей площади трафарета с пастой к поверхности печатной платы, особенно при небольшой площади печати. В таблице 2 приведены относительные площади поверхности для различных корпусов (данные воспроизводятся их

документа IPC 7525-B). Даже в случае устройства с самыми большими средними отверстиями (PLCC) площадь поверхности боковой кромки трафарета все еще достаточно велика по сравнению с площадью поверхности зоны печати. Это приводит к тому, что значительное количество материала переносится на боковые стенки трафарета. Тем не менее, действие силы тяжести и отсутствие противоположной силы на другой стороне трафарета приводит к тому, что большая часть пасты переносится правильно. Когда соотношение площади печатного рисунка начинает уменьшаться, количество перенесенного материала становится все более важным. Как правило, проблемы начинают возникать, когда отношение площадей падает ниже 0,66.

Имеется некоторое противоречие в вопросе о том, как влияют шероховатости боковых стенок трафарета на количество нанесенной паяльной пасты. Очевидно, некоторые пасты захватываются канавками и порами на боковых стенках трафарета. Вопрос о том, что захватывается — шарики припоя или только флюс, зависит от размера дефектов и диаметра шариков припоя. После сравнения различных способов минимизации поверхности трафарета (электрополировка, использование более тонкого металла, точные методы резки) стали ясны преимущества модификации химического состава поверхности трафарета путем нанесения покрытий (например, фторуглеродной пленки), уменьшающих поверхностную энергию.

Выбор типа и техники обработки поверхности зависит от следующих факторов.

1. Трехмерная природа трафарета (оказывает влияние на используемые методы покрытия).

2. Возможность образования соединений с оксидами металлов, такими как оксиды никеля и хрома/железа (нержавеющая сталь).
3. Устойчивость к химическому воздействию и физическому истиранию.
4. Дополнительная толщина отверстий трафарета за счет нанесенного покрытия.
5. Устойчивость покрытия к образованию трещин.
6. Скользящая обработанная поверхность (может влиять на ход ракеля с припоем).
7. Свободная поверхностная энергия обработанной поверхности и ее зависимость от химического состава паяльных паст.
8. Шероховатая поверхность кромок у отверстий трафарета.

В настоящее время поверхности могут быть покрыты и изолированы от окружающей среды самыми разными методами, но известно мало способов сделать поверхность олеофобной (отталкивающей масло). Мы попытаемся описать наиболее действенные способы изготовления олеофобных трафаретов и связанные с этим преимущества и ограничения. И хотя олеофобность подразумевает, что статический угол смачивания поверхности маслом превышает 90°, большинство производителей покрытий называет олеофобными материалы с показателями 60–70°, поскольку угол контакта масла с большей частью поверхностей разных материалов составляет менее 10°.

Известны три основных класса обработки поверхности для изменения их олеофильных (или олеофобных) свойств, включая связывание с поверхностью одного молекулярного слоя фторуглеродов (монослой), многослой-

Таблица 2. Относительная площадь поверхности разных корпусов

Тип	Шаг, мм	Ширина основания, мм	Длина основания, мм	Ширина апертуры, мм	Длина апертуры, мм	Толщина трафарета, мм	Соотношение сторон	Отношение площадей	Тип паяльной пасты
PLCC	1,25	0,65	2,00	0,60	1,95	0,15–0,25	2,4–4,0	0,92–1,53	Тип 3
QFP	0,65	0,35	1,50	0,30	1,45	0,15–0,175	1,7–2,0	0,71–0,83	Тип 3
QFP	0,50	0,30	1,25	0,25	[1,20]	0,125–0,15	1,7–2,0	0,69–0,83	Тип 3
QFP	0,40	0,25	1,25	0,20	[1,20]	0,10–0,125	1,6–2,0	0,69–0,86	Тип 3
QFP	0,30	0,20	1,00	0,15	0,95	0,075–0,125	1,2–2,0	0,52–0,86	Тип 3
0402	N/A	0,60	0,65	0,45	0,60	0,125–0,15	N/A	0,86–1,03	Тип 3
0201	N/A	0,4	0,45	0,23	0,35	0,075–0,125	N/A	0,56–0,93	Тип 3
01005	N/A	0,200	0,300	0,175	0,250	0,063–0,089	N/A	0,58–0,81	Тип 4
BGA	1,25	CIR 0,55		CIR 0,52		0,15–0,20	N/A	0,65–0,86	Тип 3
BGA с мелким шагом	1,00	CIR 0,45		SO 0,42		0,115–0,135	N/A	0,65–0,76	Тип 3
BGA с мелким шагом	0,50	CIR 0,25		SO 0,28		0,075–0,125	N/A	0,56–0,93	Тип 3
Fine-pitch BGA	0,40	CIR 0,20		SO 0,23		0,075–0,100	N/A	0,56–0,75	Тип 4

Примечания. 1. Предполагается, что контакты BGA с мелким шагом полностью вскрыты паяльной маской (NSMDP). 2. N/A означает, что следует рассматривать только отношение площадей.

ные или олиго/полимерные фторуглероды и традиционные органические покрытия (которые можно было бы назвать красками или лаками). Далее мы сравним эти три подхода с учетом восьми упомянутых факторов.

МОНОСЛОЙ

Монослойная пленка, образованная при испарении растворителя из раствора, используется для нанесения на сложные поверхности. Такой метод эффективен в тех случаях, когда поверхности не обработаны специализированными химическими составами.

Монослойная пленка обеспечивает одни из самых малых значений свободной поверхностной энергии благодаря организованной структуре. Устойчивость трафарета к истиранию в этих случаях, как правило, хорошая.

Для формирования монослоев на поверхности оксида металла используются два основных химических вещества: силиканы и фосфонаты. Вообще говоря, химическая стойкость кремнево-кислородно-металлических связей (за исключением оксидов на основе Si или Sn) хуже, чем у фосфонатов, из-за того, что связи Si-O-M (M = Cr, Fe, Ni и т.д.) легко гидролизуются в присутствии слабых кислот/оснований, в то время как связи P-O-M гидролизуются только в присутствии сильного основания [6].

Силоканы формируют моодентатные связи с поверхностями, тогда как фосфонаты образуют би- или тридентатные соединения с большинством оксидов металлов [7], что повышает устойчивость к гидролизу. Более того, общее качество монослоев силикана зависит от количества присутствующих на поверхности гидроксильных групп. Большинство металлов имеет функциональность M-OH в диапазоне 10–15%, а это значит, что монослой силикана, по существу, ограничены субмонослойными плотностями упаковки [8]. Фосфонатные покрытия не страдают от этого ограничения благодаря способности образовывать связи с μ -оксогруппами (M-O-M), а также с гидроксидами металлов. Прочность химических связей монослоя с подложкой очень высока по сравнению с органическими покрытиями, хотя фосфонаты работают значительно лучше, чем силиканы на никеле и нержавеющей стали, за счет упомянутой гидролитической устойчивости.

Правильная очистка трафарета перед нанесением покрытия имеет решающее значение, т.к. загрязнения должны быть полностью удалены, обеспечив ковалентную связь монослоя с оксидом металла. Как правило, трафареты очищают нагретым раствором каустической соды с последующим ополаскиванием, а затем погружением

в активный раствор на некоторое время. Системы на основе фосфонатов более терпимы к изменениям условий эксплуатации (времени погружения, температуре, влажности и т.д.), тогда как при использовании силиканов требуется тщательный контроль условий окружающей среды во избежание димеризации/полимеризации активных веществ.

Количество воды, адсорбированной на поверхности трафарета (в режиме монослоя 1–10), влияет на конечные характеристики силикановых монослоев; на фосфонаты этот фактор не влияет. Кроме того, фосфонатам не требуется последующее отверждение, тогда как силиканам необходим этот процесс длительностью до 1 ч при 100–150°C. Формирование монослоев на поверхности — оптимальный выбор при использовании отверстий очень малых размеров (в результате отверстия сужаются всего лишь на 2–5 нм). Данный метод эффективен, если требуется обеспечить высокое качество печати. Однако при этом увеличиваются затраты, связанные с использованием трафарета с покрытием.

МНОГОСЛОЙНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

Как правило, такая обработка осуществляется только с помощью ваку-

НИЦ ВТ
ОАО «НИЦЭВТ»
www.nicevt.com

117587, Москва
Варшавское шоссе, 125
Тел./факс: (+7 495) 319-1378
Отдел заказов
Тел.: +7 (495) 319-0627
E-mail: ok@nicevt.com

Печатные платы
Механическая обработка
Монтаж
Гальваника
Порошковое покрытие

ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
Высокотехнологичное контрактное производство, предоставляющее услуги по изготовлению печатных плат, электронных модулей, корпусных, механических деталей и узлов, стоек и электротехнических шкафов, а также нанесению защитных порошковых, гальванических и лакокрасочных покрытий.

умных установок, поскольку очень трудно обеспечить равномерное распределение раствора на сложных поверхностях. Многослойная обработка основана на характеристиках многофункциональных реактивных силанов/силоксанов [9] и требует контроля над содержанием воды на поверхности, скоростью осаждения, температурой подложки и т.д. Данный метод страдает отсутствием гибкости, поскольку эти системы жестко связаны между собой, обеспечивая хорошее покрытие поверхности. Очевидными слабыми местами являются стоимость и скорость производства, т.к. вакуумные установки работают с партиями изделий, а стоимость оборудования сравнительно высока. Если покрытие выполнено правильно, оно характеризуется очень малой поверхностной энергией, умеренной стойкостью к химическим веществам и истиранию, а сужение отверстий невелико (как правило, до 50 нм). При этой процедуре трудно достичь адгезии, не применяя систему грунтования поверхности. Чрезвычайно важна тщательная очистка трафарета перед нанесением покрытия, которая обеспечивает хорошее качество обработки. В целом, многослойная обработка обеспечивает то же качество покрытия поверхности, что и система на основе монослоев из раствора, но за счет значительно больших расходов.

ОРГАНИЧЕСКИЕ (ТОЛСТЫЕ) ПОКРЫТИЯ

Более традиционные органические (толстые) покрытия трудно равномерно нанести на сложные поверхности, что связано с трудностью создать полимерные пленки толщиной менее 1 мкм. Классическим примером такой обработки является нанесение тефлона на кухонную посуду. Эти виды покрытий, как правило, имеют очень хорошую адгезию, устойчивость к химическим реагентам и истиранию, а также гибкость. Тем не менее, у них более высокая СПЭ, чем у монослоя и вакуумного покрытия, и они легко могут забить небольшие отверстия. Любые шероховатости на поверхности трафарета следует выровнять, нанеся более толстое покрытие, что дает некоторое преимущество за счет меньшего налипания паяльной пасты на боковые стенки трафарета. Однако при старении некоторые покрытия начинают осыпаться в паяльную пасту. Использование более толстых органических (полимерных) покрытий, вероятно, является лучшим выбором для производств со сверхвысоким тиражом изделий и трафаретов со средними и большими размерами апертуры (при отношении площадей более 0,66).

Во всех трех случаях последующий анализ выполняется путем измерения угла смачивания, а также с помощью более традиционных методов испытания покрытий (на твердость, методом решетчатого надреза, на отслаивание и т.д.). Однако чтобы точнее измерить свойства нескольких последних нанометров поверхности покрытия, используются такие методы анализа как рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, зеркальная ИК-спектроскопия и т.д. Поскольку измерение угла смачивания (скорее, к сожалению) используется многими как аналитический метод ранжирования масло- и водоотталкивающих покрытий, мы считаем необходимым поделиться несколькими соображениями по использованию этих измерений для «определения» специфической поверхности или покрытия.

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА СМАЧИВАНИЯ

Известно очень мало методов анализа сверхтонких пленок на поверхностях. Применение большинство из них обходится недешево. Установка для рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, используемая в одном из лучших методов анализа поверхности, стоит более 100 тыс. долл., тогда как гониометр для измерения угла смачивания можно приобрести менее чем за 10 тыс. долл. Сравнительно малая цена и щадящие требования к техническим навыкам, необходимым для измерения угла смачивания, являются, по-видимому, главными причинами популярности этого метода по сравнению с другими способами определения характеристик нанометровых пленок.

Гониометр, который позволяет оценить угол смачивания твердой поверхности каплями различных жидкостей (преимущественно воды), может оказаться очень полезным инструментом для опытных специалистов. Однако применение этого метода часто связано с неправильной интерпретацией результатов. Мы не раз наблюдали, как использование только статических углов контакта воды или масла для определения характеристик маслоотталкивающих пленок порождало множество проблем. Мы по-прежнему используем углы смачивания маслом и водой как метод сравнения покрытий или модификации процесса покрытия, однако только в том случае, когда подложки взяты из одного куска металла, а процессы обработки стандартизованы путем тщательного анализа с использованием модельных подложек. Наилучшим способом сравнения различных покрытий или технологий нанесения является подготовка и

тестирование образцов в конкретном приложении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трафаретная печать представляет собой сложный комплекс взаимодействующих компонентов, проблемы которого не решить одним махом. Мы проанализировали отдельные составляющие трафарета как системы, чтобы выделить и понять взаимодействие между ними. Материалы, из которых изготовлен трафарет, и покрытия поверхностей играют очень важную роль в управлении процессом нанесения пасты, особенно при поверхностном монтаже с большой плотностью.

В настоящий момент покрытия на основе фторуглеродов являются наилучшим методом уменьшения поверхностной энергии и, соответственно, загрязнения поверхности трафарета пастами припоя. Мы считаем, что фосфонатные монослои оптимально сбалансированы по соотношению производительности и цены, а малая толщина этих покрытий снижает факторы риска. Так, эти покрытия явно не растрескиваются и не выносятся в пасту, а их повреждение не приводит к изменению размера отверстий.

Использование формулы соотношения площадей является основой понимания задачи нанесения пасты. С учетом сложности взаимодействия различных поверхностей и степени их смачивания/отталкивания паяльной пастой требуются дополнительные исследования, чтобы вывести ту формулу, которая учтет все эти переменные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gao L. and McCarthy T. *Wetting* 101. *Langmuir*. 25 (24). 14105–14115. 2009.
2. Scheuerlein C. and Taborelli M. *The assessment of metal surface cleanliness by XPS*. *Appl. Surf. Sci.* 252. 4279–4288. 2006.
3. Kirsch P. *Modern Fluoroorganic Chemistry*. Wiley-VCH. 2004.
4. Harper C. A. *Electronic Assembly Fabrication*. McGraw-Hill. 2002.
5. Hwang J.S. U.S. Patent # 4460414.
6. Silverman B.M., Wieghaus K.A. and Schwartz J. *Comparative Properties of Siloxane vs. Phosphonate Monolayers on a Key Titanium Alloy*. *Langmuir*. 21. 225–228. 2005.
7. Gawalt E.S., Avaltroni M.J., Koch N. and Schwartz J. *Langmuir*. 17. 5736. 2001.
8. Lu G., Bernasek S.L. and Schwartz J. J. *Surf. Sci.* 458. 80. 2000.
9. Heine R.F. U.S. Patent # 3423234.
10. William E. Coleman. *Printing and Assembly Challenges for Quad Flat No-Lead (QFN) Packages*. 2012.
11. Duane Benson. *SMD vs. NSMD. Circuits Assembly*. 2010.

Технологическая система формирования фоторезистивных плёнок

АНАТОЛИЙ СЕРГИЕНКО, инженер ОАО НИИПМ, deka100@rambler.ru

В настоящей статье представлена автоматическая линия формирования фоторезистивных плёнок ЛФП-100М — последняя разработка ОАО «НИИПМ» (г. Воронеж), а также представлены сведения о конструкции, назначении и принципе действия.

НАЗНАЧЕНИЕ

Автоматическая линия формирования фоторезистивных плёнок ЛФП-100М (наименование по техническому паспорту) представляет собой технологическую систему по изготовлению фоторезистивных плёнок на гладких и рельефных поверхностях полупроводниковых пластин диаметром 76 и 100 мм для производства СБИС и полупроводниковых приборов.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Прежде чем перейти к непосредственному описанию технологической системы, полезно пояснить, почему собственно применён именно данный термин, а не традиционный — установка, линия и т.д.?

Предпримем краткий экскурс в историю техники: термин технология [1] происходит от древнегреческих слов τέχνη — искусство, мастерство, умение и λόγος — мысль, причина; методика, способ производства). В широком смысле — совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности, а также научное описание способов технического производства. В узком — комплекс организационных мер, операций и приемов, направленных на изготовление изделия с номинальным качеством и оптимальными затратами и обусловленных текущим уровнем развития науки, техники и общества в целом.

Разработчики ОАО «НИИПМ» в буквальном смысле материализовали «совокупность методов, процессов и материалов», сконструировав технологическую систему для формирования фоторезистивных плёнок на поверхностях полупроводниковых пластин диаметром 76 и 100 мм.

Следует выделить несколько важных обстоятельств. Например, модульность. Технологическая система состоит из модулей. Каждый модуль

выполняет ту или иную технологическую функцию.

Поскольку технологический процесс формирования фоторезистивных плёнок на поверхностях полупроводниковых пластин является сложным и определяющим качество, модульность конструкции технологической системы позволяет интегрировать в систему модули для решения производственных и технологических задач с минимальными затратами. Это относится как к чисто технологическим вопросам, так и к конструктивным, позволяя, например, увеличить размер полупроводниковых пластин вплоть до диаметра 300 мм.

К числу важнейших технологических факторов относится состояние поверхности полупроводниковой поверхности перед нанесением фоторезиста.

Целью процессов подготовки поверхности пластины является обеспечение хорошей адгезии плёнки фоторезиста к поверхности пластины. Технологам известно, что на поверхности полупроводниковой пластины присутствует вода в виде гидроксильных групп ОН, которая делает поверхность гидрофильной или гидратной и уменьшает адгезию фоторезиста к ней. Известно, что термообработка в парах органического соединения гексаметилдисилазана (ГМДС) способствует удалению воды с поверхности, делая её гидрофобной, поэтому называется дегидратационной сушкой. Приведём примеры.

Обработка в парах ГМДС должна производиться в закрытых вакуумированных камерах на базе термостоллика. Пластина помещается на термостоллик, герметично закрывается колпаком с арматурой для напуска газов (паров) и вакуумной откачкой, образуя камеру. После этого в камеру напускается азот, и термостоллик нагревается до заданной температуры. По её достижению камера откачивается вакуумным насосом до определенного остаточного давления,

в неё напускаются пары ГМДС, и пластина выдерживается в течение требуемого промежутка времени Δt . Если на неподготовленную пластину нанести небольшую каплю воды, то она смочит поверхность и растечётся по ней. После обработки в парах ГМДС такая же капля, нанесённая на пластину, останется на поверхности в виде бусины.

Методика подготовки поверхности полупроводниковой пластины заключается в её обработке в газофазном адгезиве. Следует заметить, что влага на поверхности пластины имеет определяющее значение в адгезии резиста, т.к. её присутствие влечёт за собой отслоение фоторезиста. На первом этапе подготовки поверхности (дегидратации) пластина нагревается на «горячей плите» в вакууме до 150°C. Такой нагрев приводит к интенсивному испарению влаги с поверхности.

Второй этап (гидрофобизация) происходит в той же камере. Сухой азот предельно пропускают через ёмкость с адгезивом. Наиболее широко применяемым адгезивом является уже упомянутое органическое соединение ГМДС. Азот, насыщенный парами ГМДС, напускается в камеру. При этом молекулы ГМДС разлагаются на поверхности разогретой пластины и образуют на ней плёнку, имеющую более низкую поверхностную энергию, а, следовательно, и менее выраженные гидрофобные свойства.

Третий этап подготовки поверхности пластины (охлаждение) проводится на «холодной» плите. Полупроводниковая пластина охлаждается до 21°C. Охлаждение производится после каждой операции термообработки. При этом могут преследоваться две цели: снижение температуры пластины до величин безопасных для последующего её перемещения в пластиковую кассету и термостабилизация пластины перед последующим технологическим шагом, зависящим от температуры пластины [2].

Перечисленные технологические фрагменты подтверждают тезис о том, что технологическая система для формирования фоторезистивных плёнок должна обладать определённой «гибкостью», т.е. возможностью необходимой интеграции или дезинтеграции технологических процессов, диктуемых технологическими и производственными потребностями. Технологическая система для формирования фоторезистивных плёнок, построенная по модульному принципу, реализует эту потребность.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ ПЛЁНОК

Технологическая система формирования фоторезистивных плёнок предусматривает выполнение следующих технологических операций и транспортировку полупроводниковых пластин:

- автоматическая загрузка пластин из кассеты с их последующим переносом с позиции на позицию;

- мегазвуковая струйная очистка пластин;
- обработка пластин парами ГМДС на «горячей» плите;
- термостабилизация пластин на «холодной» плите;
- формирование фоторезистивных плёнок методом центрифугирования (нанесение слоя фоторезиста);
- термообработка фоторезистивных плёнок на «горячей» плите после нанесения фоторезиста;
- термостабилизация пластин на «холодной плите» перед автоматической приёмкой обработанных пластин в кассету;
- транспортная система — однокоординатный многопозиционный манипулятор, обеспечивающий фиксацию и транспортировку пластин.

Технологическая система формирования фоторезистивных плёнок соответствует требованиям эксплуатации в помещениях класса Р(10) и должна экс-

плуатироваться в помещениях, соответствующих требованиям для микроэлектронных производств по серии ГОСТ Р ИСО 14644-(1÷8) с применением фильтров HEPA и ULTRA.

Необходимые энергоносители. Для эксплуатации технологическая система должна быть подсоединена к:

- 3-фазной электрической сети переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц; нормы качества электроэнергии по ГОСТ 13109-87;
- сети сжатого воздуха (очищенного и осушенного) по ОСТ 11050.003-83 с давлением 4,0–6,0 кгс/см² (0,4–0,6 МПа);
- сети централизованного безмасляного форвакуума с давлением не более 250 тор;
- сети азота газообразного сорта 1 по ОСТ 11050.0003-83 с давлением 1,5–2,0 кгс/см² (0,15–0,20 МПа);
- сети деионизованной воды марки А по ОСТ 029.003-80 с давлением 2,0–2,5 кгс/см² (0,2–0,25 МПа) и расходом не менее 3л/мин;
- сети технической воды с температурой не более 14÷16°С;
- вытяжной вентиляции с производительностью не менее 100 м³/ч;
- химически стойкой канализации с Д(у) 30 мм;
- контуру заземления.

В таблице 1 приведены основные технологические данные технологической системы формирования фоторезистивных плёнок.

Технологическая система формирования фоторезистивных плёнок состоит из следующих составных частей.

- Агрегат формирования фоторезистивных плёнок в составе:
 - модуля загрузки пластин;

Таблица 1. Основные технические данные технологической системы формирования фоторезистивных плёнок

№	Параметр	Единица измерения	Значение
1	Диаметр обрабатываемых пластин	мм	76, 100
2	Диапазон времени работы технологических модулей	с	1÷999
3	Дискретность времени работы технологических модулей	с	1
4	Устройство мегазвуковой обработки		
4.1	Рабочая частота мегазвукового генератора	МГц	1,65
4.2	Мощность мегазвукового генератора	Вт	50
4.3	Скорость вращения пластины	об/мин	50÷6000
4.4	Дискретность задания скорости вращения пластины	об/мин	10
5	Устройство термообработки в парах ГМДС		
5.1	Диапазон поддержания температуры «горячей плиты»	°С	40÷200
5.2	Точность поддержания температуры «горячей плиты»	°С	±0,5
5.3	Дискретность задания температуры «горячей плиты»	°С	1,0
5.4	Давление в камере, не более	тор	250
6	Устройство термостабилизации пластины		
6.1	Равномерность температуры по пластине	°С	±0,5
7	Устройство нанесения фоторезиста		
7.1	Диапазон скорости вращения центрифуги	об/мин	50÷6000
7.2	Дискретность скорости вращения центрифуги, не более	об/мин	10
7.3	Диапазон ускорения вращения центрифуги	об/мин/с	10÷30000
7.4	Дискретность ускорения вращения центрифуги	об/мин/с	100
7.5	Диапазон регулирования температуры фоторезиста	°С	18÷50
7.6	Диапазон дозы фоторезиста	мл	1,5÷5,0
7.7	Диапазон вязкости фоторезиста	сСт	1,0÷55,0
8	Устройство термообработки пластины		
8.1	Диапазон поддержания температуры «горячей плиты»	°С	70÷200
8.2	Точность поддержания температуры «горячей плиты»	°С	±0,5
8.3	Дискретность температуры «горячей плиты»	°С	1,0
8.4	«Фиксированный зазор», на котором проводится термообработка, не более	мм	0,15
9	Устройство термостабилизации и приёма пластин		
9.1	Равномерность распределения температуры по пластине	°С	±0,5
10	Общее		
10.1	Потребляемая мощность, не более	кВт	7,5
10.2	Габариты		
10.2.1	Агрегат со стойкой в рабочей зоне	мм	2680×760×1330
10.2.2	Габариты в зоне обслуживания (технической зоне)	мм	2000×620×1360
10.2.3	Масса	кг	720

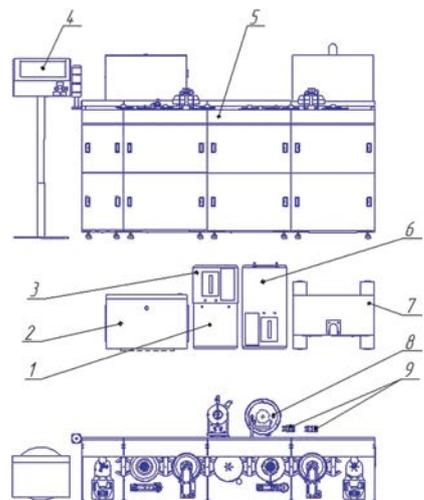


Рис. 1. Расположение составных частей технологической системы формирования фоторезистивных плёнок: 1 — столик; 2 — пульт управления; 3 — термостат; 4 — пульт оператора; 5 — агрегат формирования фоторезистивных плёнок; 6 — криостат; 7 — технологический бокс; 8 — ёмкость для слива; 9 — коллектор

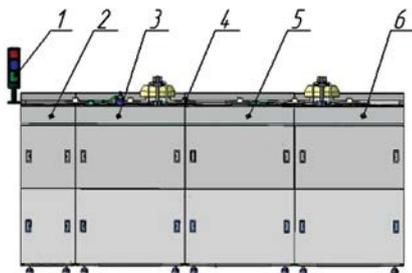


Рис. 2. Агрегат формирования фоторезистивных плёнок: 1 — сигнальная колонна; 2 — модуль загрузки; 3 — модуль мегазвуковой обработки и термообработки в парах ГМДС; 4 — транспортная система; 5 — модуль термостабилизации и нанесения фоторезиста; 6 — модуль термообработки и приёма пластин

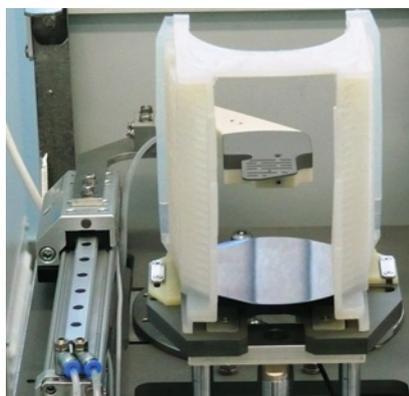
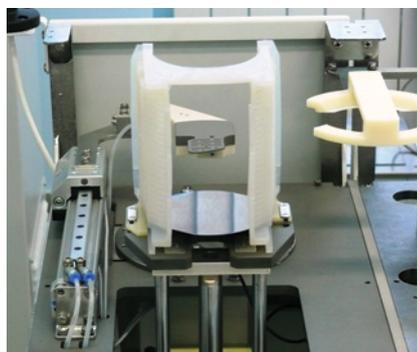
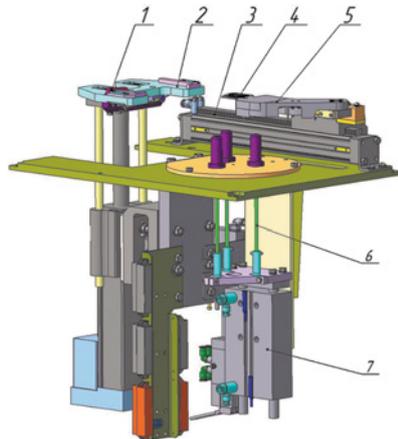
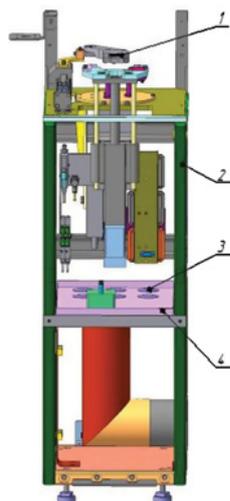


Рис. 3. Модуль загрузки: 1 — устройство выдачи пластин; 2 — каркас; 3 — вставка; 4 — поддон с вытяжным коллектором

Рис. 4. Устройство загрузки пластин: 1 — планка; 2 — механизм шагового перемещения кассеты; 3 — линейный привод; 4 — вакуумная присоска; 5 — извлекатель; 6 — толкатель; 7 — пневмоцилиндр

- модуля мегазвуковой обработки и термообработки в парах ГМДС;
- МЗ генератора;
- модуля термостабилизации и нанесения фоторезиста;
- модуля термообработки и приёма пластин;
- устройства термостабилизация фоторезиста;
- пульта оператора и пульта управления.
- Технологический бокс в составе:
 - термостата VT-8;
 - криостата LOIP FT-311-25;
 - столика;
 - ёмкости для слива;

- коллектора разводного. Расположение составных частей изображено на рисунке 1.

УСТРОЙСТВО И РАБОТА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СИСТЕМЫ

Агрегат формирования фоторезистивных плёнок

Агрегат формирования фоторезистивных плёнок (в дальнейшем агрегат) предназначен для выполнения технологических операций, заданных оператором на пульте управления.

Внешний вид агрегата показан на рисунке 2.

Агрегат выполнен в виде набора модулей 2–6 (см. рис. 2), образованных технологическими устройствами, которые установлены в каркасы и объединены в одну систему. В основе работы агрегата лежит принцип пооперационной обработки полупроводниковых пластин, в соответствии с которым они поочередно обрабатываются на пяти технологических позициях (устройствах).

Модуль загрузки

Модуль загрузки (в дальнейшем модуль) показан на рисунке 3 (верхний кожух и задние и лицевые панели сняты).

На каркас 2 установлено устройство выдачи пластин 1. Каркас 2 разделен поддоном с вытяжным коллектором 4 на две части. Верхняя часть каркаса 2 за счёт отверстий в поддоне 4 через вытяжной патрубок соединена с общей вытяжной системой, обеспечивая постоянную вентиляцию верхней части каркаса 2. Сила воздушного потока регулируется вставками 3.

Устройство загрузки пластин

Устройство загрузки пластин предназначено для извлечения пластины из кассеты и перемещение её на носитель транспортной системы. Конструкция устройства загрузки пластин показана на рисунке 4.

Кассета с пластинами устанавливается на планки платформы механизма шагового перемещения 2 (см. рис. 4). Платформа жёстко закреплена на приводе вертикального перемещения, чем обеспечивается движение кассеты вверх и вниз. Датчик, расположенный в нижней части механизма вертикального перемещения, определяет нижнее предельное положение платформы. Для определения наличия кассеты под платформой установлен датчик. При установке кассеты на платформу механизма шагового перемещения 2 планка 1 опускается и флажком перекрывает датчик, расположенный под платформой. Приводом «извлекателя» 5 является линейный привод 3. «Извлекатель» 5 образует жёсткое соединение с платформой линейного

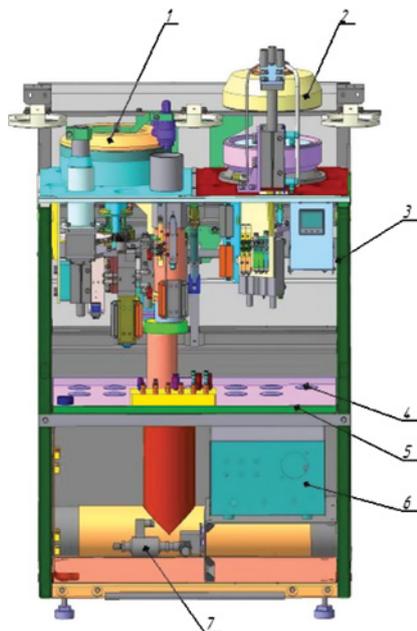


Рис. 5. Модуль — МЗ/ГМДС: 1 — устройство мезазвуковой обработки пластин; 2 — устройство термообработки в парах ГМДС; 3 — каркас; 4 — вставка; 5 — поддон с вытяжным коллектором; 6 — МЗ генератор; 7 — блок подачи деионизованной воды

привода 3. Для надёжного удержания пластины на «извлекателе» 5 созданы канавки вакуумной присоски 4. При линейном перемещении извлекателя 5 толкатели 6 находятся в нижнем положении.

В режиме работы загрузчик автоматически приводится в исходное состояние — «платформа вверх». После смены или установки кассеты «извлекатель» 5 перемещается в положение «кассета» и включается вакуум. После этого начинается движение платформы вниз до первого шага. «Извлекатель» 5 извлекает пластину из кассеты и с пластиной возвращается в исходное положение «ожидание транспорта», после чего с «извлекателя» 5 «снимается» вакуум. Пневмоцилиндр 7 перемещает толкатели 6 в верхнее положение, и они поднимают пластину с «извлекателя» 5. Под пластину подходит первый носитель транспортного устройства, и толкатели 6 опускаются, оставляя пластину на носителе транспортного устройства. Пластина переносится в рабочую зону технологического устройства.

Модуль мезазвуковой обработки и термообработки

Модуль мезазвуковой обработки и термообработки в парах ГМДС (в дальнейшем — модуль МЗ/ГМДС) показан на рисунке 5 (верхний кожух и лицевые панели сняты).

На каркас 3 установлены два технологических устройства: устройство мезазвуковой обработки пластин 1 и устройство термообработки в парах ГМДС 2. Каркас 3 разделен поддоном с вытяжным коллектором 5 на две части. Верхняя часть каркаса 3 за счёт

отверстий в поддоне 5 через вытяжной патрубок соединена с общей вытяжной системой, обеспечивая постоянную вентиляцию верхней части каркаса 3. Сила воздушного потока регулируется вставками 4. В нижней части каркаса 3 расположен МЗ генератор 6 и блок подачи деионизованной воды 7, в состав которого входит вентиль и датчик протока, позволяющие регулировать расход деионизованной воды.

Устройство мезазвуковой обработки пластин

Устройство мезазвуковой обработки пластин (в дальнейшем устройство МО) предназначено для очистки поверхности пластин перед операцией нанесения слоя фоторезиста. Конструкция устройства показана на рисунке 6.

Мезазвуковая очистка пластин производится на вращающейся центрифуге 3 струей ДИ воды, «озвученной» мезазвуком. В процессе обработки пластина удерживается на столике 6 центрифуги 3 вакуумом.

Центрифуга 3 установлена на платформе 2 и перемещается вверх для переноса пластины на систему транспортировки и вниз — для переноса пластины в рабочую зону пневмоцилиндром 1. Рабочая зона устройства образована неподвижной ванной 4 и отражателем 5. На поворачивающейся планке 9 установлена мезазвуковая форсунка 8, через которую на полупроводниковую пластину подается деионизованная вода, «озвученная» мезазвуком. В исходном положении планка 9 с МЗ форсункой подачи деионизованной воды располагается над стаканом 7 в опущенном положении.

Вертикальное перемещение планки 9 с МЗ форсункой 8 осуществляется механизмом перемещения 10 и контролируется датчиками, установленными на пневмоцилиндре механизма. Поворот планки 9 с МЗ форсункой 8 в рабочее положение (над центром пластины) и возврат её в исходное положение

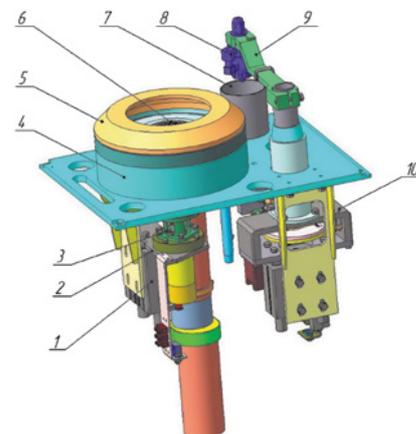


Рис. 6. Устройство МО: 1 — пневмоцилиндр; 2 — платформа; 3 — центрифуга; 4 — ванна; 5 — отражатель; 6 — столики; 7 — стакан; 8 — МЗ форсунка; 9 — планка; 10 — механизм перемещения

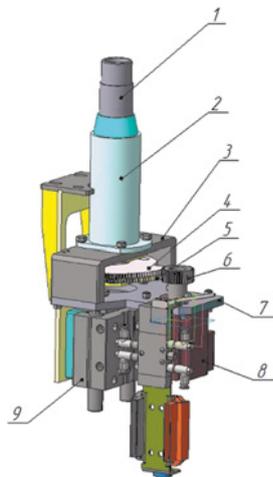


Рис. 7. Устройство механизма перемещения: 1 — направляющая; 2–3 — корпус; 4–6 — шестерня; 7 — платформа; 8 — электродвигатель; 9 — пневмоцилиндр

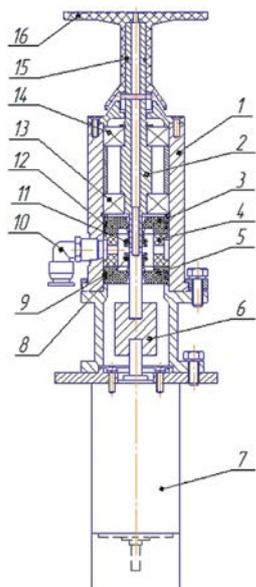


Рис. 8. Центрифуга: 1 — корпус; 2 — вал; 3–5 — втулка; 6 — муфта; 7 — электродвигатель; 8, 9, 11, 12, 15 — кольцо; 10 — штуцер; 13–14 — подшипник; 16 — столик

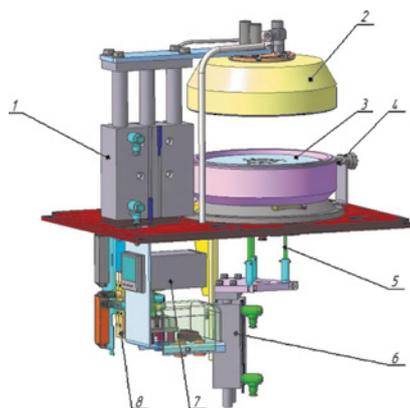
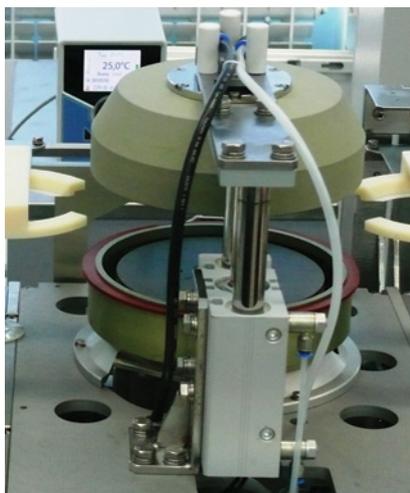


Рис. 9. Устройство ГМДС (справа): 1, 6 — пневмоцилиндр; 2 — крышка; 3 — плата; 4 — термопара; 5 — толкатель; 7 — ПИД-регулятор ТРМ 101; 8 — пневмораспределитель



(над стаканом) осуществляется механизм перемещения 10. Положение инструмента в рабочем или в исходном положении контролируется датчиком. Кроме того, планка с МЗ форсункой 8 может производить сканирование над пластиной. Контроль сканирования осуществляется датчиком.

Слив отработанных реагентов из ванны 4 осуществляется через сливной патрубков в химически стойкую канализацию. Работой всех исполнительных механизмов управляют пневмораспределители с электроуправлением, установленные в панелях устройства.

Механизм перемещения

Механизм перемещения предназначен для вывода инструмента на рабочую позицию, а также вертикального перемещения инструмента с рабочей насадкой. В устройстве МО — это планка 9, на которой закреплён трубопровод подачи ДИ воды и мегазвуковая форсунка 8 (см. рис. 6). Устройство механизма перемещения показано на рисунке 7. Основой конструкции является вертикальная направляющая 1, которая при вертикальном перемещении жёстко соединена с корпусами 2 и 3, платформой 7. Платформа 7 устанавливается на пневмоцилиндр 9, обеспечивая направляющей 1 движение вверх и вниз. Верхнее и нижнее положения направляющей 1 фиксируются датчиками, установленными на пневмоцилиндре 9. Свободное вращение направляющей 1 в корпусе 2 обеспечивают установленные в нём подшипники. Электродвигатель 8 через шестерни 4–6 осуществляет поворот направляющей 1, на которую устанавливается планка с инструментом. Поворот направляющей 1 с закреплённой на ней планкой с инструментом контролируется датчиком. Перемещением направляющей 1 вверх и вниз управляет пневмораспределитель 9 с электроуправлением, расположенный на пневмопанели механизма перемещения.

Центрифуга

Центрифуга представлена на рисунке 8. Основным её элементом является электродвигатель 7. Через муфту 6 вращение с двигателя 7 передаётся на полый вал 2, установленный в подшипниках 13 и 14. Через штуцер 10 во втулку 4, а затем в полый вал 2 подводится вакуум, удерживающий пластину на столике центрифуги. В корпусе 1 установлены уплотняющие втулки 3 и 5 и резиновые кольца 8, 9, 11, 12, обеспечивающие вакуум на столике 16. При установке столика 16 для обеспечения вакуумплотности на валу 2 установлено кольцо 8.

Устройство термообработки

Устройство термообработки в парах ГМДС (в дальнейшем — устройство ГМДС) предназначено для гидрофобизации поверхности полупроводниковой пластины перед нанесением слоя фоторезиста. Конструкция устройства показана на рисунке 9.

Основной составной частью устройства ГМДС является аккумуляторная плита 3, на которой происходит непосредственный нагрев полупроводниковой пластины до заданной температуры, и крышка 2. Для обеспечения контроля и поддержания температуры в рабочем диапазоне на аккумуляторной плите 3 на устройство установлен ПИД-регулятор ТРМ 101 7, а в аккумуляторную плиту 3 введена термопара 4. В опущенном состоянии крышка 2 объединяется с радиатором аккумуляторной плиты 3 и образует замкнутый объем, из которого откачивается воздух. Затем объем заполняется парами ГМДС, создавая необходимые условия гидрофобизации поверхности полупроводниковой пластины.

Работа устройства ГМДС заключается в следующем. Полупроводниковая пластина переносится носителями транспортной системы в положение «над горячей плитой». Толкатели 5, которые находятся в нижнем положении, поднимаются и поднимают

пластину над носителями транспортной системы. Транспортная система перемещает носители в промежуточное положение, и пневмоцилиндр 6 опускает толкатели 5 вниз, которые переносят пластину на нагретую аккумуляторную плиту 3. Для удержания пластины на горячей плите в неё подается вакуум.

Крышка 2 находится в поднятом положении. После того как пластина оказывается на нагретой плите 3, пневмоцилиндр 1 опускает крышку 2 вниз до смыкания с радиатором аккумуляторной плиты 3. Нагрев аккумуляторной плиты 3 до рабочей температуры осуществляется нагревательным элементом, имеющим вид спирали, которая уложена в изолирующую плиту. Работой пневмоцилиндров 1 и 6 управляют пневмораспределители с электроуправлением 6.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПЛАСТИНЫ

После опускания крышки под ней образуется замкнутый объем, предназначенный для термообработки пластины в парах ГМДС. Для натекания паров ГМДС в замкнутый объем под крышкой создается вакуум. Для этого срабатывает клапан YA3(H3), установленный в модуле мезазвуковой обработки и термообработки в парах ГМДС. Наличие вакуума под крышкой фикси-

руется вакуумным датчиком A5, установленным в технологическом боксе.

На ёмкости с ГМДС установлен пневмоуправляемый клапан K6(H3), который открывается при включении клапана YA1(H3), установленного в технологическом боксе. Одновременно включается клапан YA2(H3), и происходит барботирование ГМДС азотом. Смесь азота и паров ГМДС поступают в разреженное пространство под крышку.

После окончания процесса дефобизации поддержание вакуума под крышкой прекращается (клапан YA3(H3) в модуле отключается), пневмоуправляемый клапан K6 на ёмкости с ГМДС переключается (отключается клапан YA1(H3), барботирование прекращается (отключается клапан YA2(H3))), и происходит продувка рабочей зоны азотом. Для подачи азота под крышку включается клапан YA3(H3), расположенный в технологической стойке.

После продувки азотом крышка поднимается, и процесс дефобизации завершён. После окончания дефобизации (термообработка пластины в парах ГМДС) пластина поднимается толкателями 5 вверх, и носитель транспортной системы занимает положение «над плитой». Толкатели 5 опускаются, и пластина ложится на носитель транспортной системы. Транспортная система переносит пластину на следующую технологическую позицию.

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- Прецизионные многослойные гибкие и гибко-жесткие печатные платы, класс точности5 и выше
- Проектирование
- Изготовление
- Поверхностный монтаж
- Гарантированное качество

390000, Рязань, ул. Семинарская, 32
 тел.: +7 (4912) 29-84-53 (многоканальный)
 факс: +7 (4912) 29-85-16, e-mail: info@grpz.ru

www.grpz.ru

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАКАЗ
 ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ЗАКАЗ

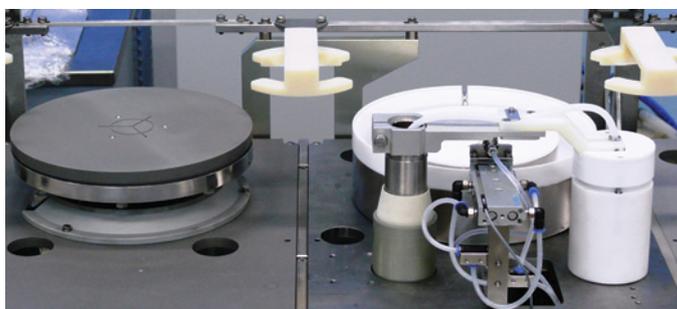
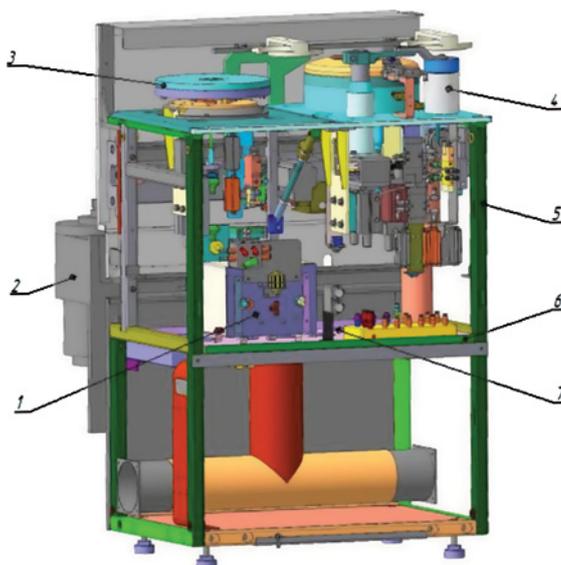
МОДУЛЬ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ И НАНЕСЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА

Модуль термостабилизации и нанесения фоторезиста (в дальнейшем модуль ТСФ) показан на рисунке 10 (верхний кожух и лицевые панели сняты).

На каркас 5 установлены два технологических устройства — *устройство термостабилизации* 3 и *устройство нанесения фоторезиста* 4. Каркас 5 разделен поддоном с вытяжным коллектором 6 на две части. На поддоне в верхней части каркаса установлен термостатированный блок дозатора 1. Система дозирования фоторезиста позволяет изменять дозу фоторезиста в заданных пределах и необходимой точностью. Верхняя часть каркаса 5 за счёт отверстий в поддоне 6 через вытяжной патрубок соединена с общей вытяжной системой, обеспечивая постоянную вентиляцию верхней части каркаса 5. Сила воздушного потока регулируется вставками 7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. 1969–1978.
2. Макаrchук В.В., Родионов И.А., Цветков Ю.Б. Конспект лекций по курсу «Методы литографии в нанотехнологии».



Продолжение статьи см. в следующем номере журнала.

Рис. 10. Модуль ТСФ: 1 — блок дозатора; 2 — термостабилизатор; 3 — устройство термостабилизации; 4 — устройство нанесения фоторезиста; 5 — каркас; 6 — поддон с вытяжным коллектором; 7 — вставка

НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

МИКРОСХЕМЫ СШП-РАДИО ЛИДИРУЮТ В ТОЧНОМ ГЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИИ | Фаблесс-компания BeSpoon и европейский центр микроэлектроники CEA-Leti продемонстрировали микросхему сверхширокополосного (СШП) импульсного радио (Impulse radio Ultra-Wide Band, IR-UWB), способную измерять расстояние с точностью до нескольких сантиметров.

Во время экспериментов с первыми прототипами было установлено, что эти ИС претендуют на мировой рекорд по дальности действия на 880 м, если следовать требованиям стандарта IR-UWB, и 3641 м согласно требованиям для чрезвычайных ситуаций.

Особенностью микросхемы является IR-UWB (импульсный СШП) КМОП-интегрированный приемопередатчик, производящий точные измерения дальности. В микросхеме имеется система (PC-тракт и цифровой блок базовых функций), которая может использовать компоненты большинства смартфонов. Используемая в этих ИС технология может обеспечить новую функциональность и сервисы для очень точной геолокации. Ожидается, что в начале следующего года ИС будут производиться на фабриках STMicroelectronics.

По словам Жана-Мари Андре (Jean-Marie Andre), директора BeSpoon, около 95% решений для позиционирования внутри помещений основано на уровне сигнала WiFi, который обеспечивает очень низкую точность — в лучшем случае, в пределах 1 м. До сих пор все коммерческие IR-UWB-решения были основаны на дискретных компонентах, установленных на печатных платах. Эти устройства не были экономически ограничены, и настройка частоты синхронизации и модуляции сигнала выполнялась путем подбора нескольких значений конденсаторов, пока устройство не начинало работать по назначению. Интеграция же в одну микросхему стала очень серьезной задачей, и лишь немногие лаборатории в мире способны ее решить.

Объединяя в себе СШП-радиоприемник и передатчик с контроллерами сигналов и высокоточным таймером для синхронизации и модуляции, микросхема отслеживает различные пути сигнала и определяет, какой из них пришел раньше других (сигнал с кратчайшим пройденным расстоянием будет на линии видимости), основываясь на точных измерениях времени пути. Поскольку радиоволны распространяются со скоростью света, задержка в 1 нс соответствует 30 см пройденного расстояния.

По словам Андре, проектирование схемы, обеспечивающей точные интервалы времени в пределах нескольких сотен пикосекунд было чрезвычайно сложной задачей. Созданная микросхема имеет подтвержденную точность таймера менее 120 пс, что соответствует точности позиционирования менее 5 см.

На точность измерений не влияют стены или перемещение людей, что позволяет предложить очень надежное решение для локации внутри помещений. Например, микросхему можно использовать для мобильного контроля геозоны, чтобы отслеживать расстояние между мобильным телефоном, портативным брелком и другими электронными устройствами (например, ноутбуком, кассой в случае ее открывания, ключами автомобиля). Брелки или смартфоны смогут выдавать сигнал предупреждения пользователю по мере их удаления.

www.russianelectronics.ru

Живой склад

СЕРГЕЙ ЛИТВИНОВ, генеральный директор, ООО «РЭСТОК», ls@re-stock.ru

Современный склад электронных компонентов — это сложное поточное производство заказов по заявкам клиентов. Для того чтобы клиенты были удовлетворены услугами склада, необходимо совершенствоваться как минимум по трём важнейшим направлениям: улучшать качество собранных заказов, сокращать сроки производства и снижать затраты на складские операции. Повысить эти показатели можно и с помощью методов организации управления на производстве, и путем инвестирования в оборудование и технологии. Однако только за счёт принципов Кайдзен можно значительно повысить рентабельность и конкурентоспособность производства, обойдясь без крупных капиталовложений, и поднять производительность труда более чем на 50–100%.

KAIZEN (от японских слов KAI — «изменение» и ZEN — «хороший») — это постоянное стремление к совершенствованию деятельности (начиная с основных и вспомогательных процессов производства, разработки, процессов управления, а также всех аспектов жизни), воплощённое в конкретные формы, методы и технологии. Улучшения могут быть небольшими, и каждое из них по отдельности, возможно, незаметно. Но в совокупности они дают значительный эффект. Такой метод используют такие выдающиеся компании как Toyota, Nissan, Canon, Honda, Komatsu, Matsushita.

Впервые философия Кайдзен использовалась в ряде японских компаний (включая Toyota) в период восстановления экономики страны после Второй мировой войны, и с тех пор распространилась по всему миру. Термин «Кайдзен» стал широко известен благодаря одноимённой книге [1]. С тех пор он был принят в качестве обозначения одной из ключевых концепций менеджмента. В 1993 г. он вошёл в новое издание оксфордского словаря английского языка, где был определён как непрерывное совершенствование методов работы и личной эффективности, т.е. как философия бизнеса.

Философия Кайдзен предполагает, что нашу жизнь в целом (трудовую, общественную и частную) следует ориентировать на постоянное улучшение. В большинстве компаний сотрудники сосредоточены исключительно на под-

держании существующих процессов — они изо дня в день делают одни и те же операции, не задумываясь об их усовершенствовании. В тех компаниях, где применяется Кайдзен, всё по-другому. Всякий раз, когда человек видит возможность сделать свою работу лучше, он внедряет эти изменения и изменяет стандарты выполнения соответствующих операций. Если в компании применяется Кайдзен, то численность штата может сократиться на 10–20%, а иногда и на 50%.

Я хочу поделиться с читателями самыми важными моментами, которые при использовании Кайдзен в нашей стране не являются очевидными, но их нельзя не учитывать на этапе внедрения и применения этой системы.

Процесс улучшения никогда не должен останавливаться. Как говорится в таких случаях, «Нет предела совершенству!». Поначалу это сложно понять и трудно в это поверить. Все считают, что существует некий предел совершенствованию. Однако вслед за одним улучшением через короткое время обязательно появится очередная идея, как сделать процесс ещё удобнее и дешевле даже в рамках одного уровня технологии. Если идея об улучшении не приходит в голову сразу, можно посмотреть, как схожий процесс реализован в других компаниях. Сотрудник, который встал на путь Кайдзен, становится предельно внимательным к окружающей действительности, получая из неё много идей.

Этот факт хорошо иллюстрируют примеры с усовершенствованием механиз-

ма отсчёта при сборе компонентов на ленте и считывании информации о размере нестандартной упаковочной тары.

В настоящее время самым удобным носителем электронных компонентов для автоматического монтажа является лента на катушке. На современном складе таких товарных позиций больше половины. По статистике, при комплектации заказа 40–60% времени операции сбора затрачивается исключительно на отсчёт таких компонентов. Для сокращения этого времени было решено внедрить новую специализированную линейку.

Прежде подсчёт небольших количеств электронных компонентов (до 200 шт.) осуществлялся с помощью бумажных линеек с сантиметровой шкалой, которая скотчем приклеивалась к рабочей поверхности.

Очень хорошую идею по использованию специализированных линеек для подсчёта компонентов я увидел на крупнейшем складе компании Farnell — глобального поставщика электронных компонентов (см. рис. 1).

Недостаток этой линейки был в том, что лента прикладывалась к шкале стороной с компонентами. Выбор шкалы и отсчёт требуемого количества компонентов затруднялся, если они имели разные размеры, а их цвет сливался с цветом ленты. При этом хорошо различимая перфорация совсем не использовалась. Мы учли это важное обстоятельство и модернизировали линейку так, что стало достаточно приложить к шкале ленту с перфорацией и отрезать необходимое количество компонентов. Теперь на одной линейке можно отсчитывать четыре самых употребляемых типоразмера компонентов по 1–2–3–4 перфорации на компонент, в отличие от той технологии, которая используется на складе компании Farnell.

После изготовления макета и его оцифровки в типографии были изготовлены линейки на самоклеющейся плёнке. Первые месяцы эксплуатации



Рис. 1. Специализированная линейка для подсчёта компонентов

показали, что нашей линейке требуются дальнейшие усовершенствования. Во-первых, напечатанная на плёнке линейка очень сильно вытягивалась при наклеивании, в результате чего точная шкала «плыла» и давала большую погрешность. Во-вторых, в процессе эксплуатации стиралась краска.

Второй тираж, в котором были учтены прошлые недостатки, был выполнен на ламинированном пластике (см. рис. 2).

Скоро эта линейка, появившаяся на каждом рабочем месте, значительно сократила время и точность сбора заявок, а также украсила его. С этого момента работа с таким сложным носителем компонентов как лента стала в удовольствие не только для опытных сборщиков, но и для новых сотрудников. Их обучение, которое прежде занимало изрядное количество времени, необходимое на запоминание для каждого типоразмера количества компонентов на единицу длины и на их пересчёт, свелось к минимуму.

Оценив успехи на участке сбора, сотрудники участка упаковки приняли вызов и вступили в соревнование по изобретательству и рационализации. На тот момент при упаковке товарных позиций самой сложной и неудобной операцией было измерение нестандартной упаковочной тары. Эта опера-

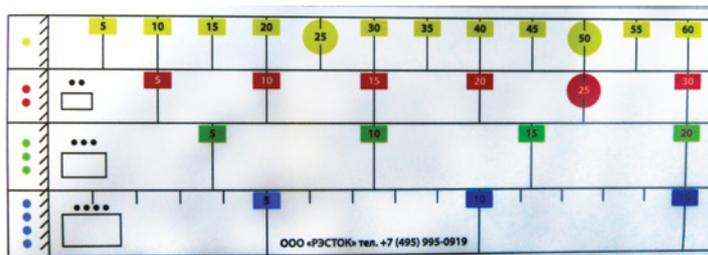


Рис. 2. Усовершенствованная линейка

ция выполнялась рулеткой, что было очень неудобно и долго. Выполняя эту операцию вручную, необходимо было проводить замер и вносить данные в компьютер. Теперь же, оснастив весы трёхмерными сантиметровыми линейками (см. рис. 3), можно положить коробку на платформу и внести данные в компьютер, определив соответствующие значения по линейкам.

Использование метода постоянного улучшения потребовало модернизировать и этот процесс. Вскресте на одном из складов я увидел размерную линейку, на которой вместо цифр стояли штрих-коды, которые сканер считывал в учётную систему. Работая над этим проектом, кто-то остроумно сравнил наши усилия с измерением длины удава в мультфильме «38 попугаев». Новый проект получил соответствующее название.

Видя, какие огромные преимущества приносит Кайдзен, многие компании пытаются использовать эти принципы. И хотя они применимы в компаниях любого размера и в любых отраслях, эти методы плохо приживаются в наших условиях. Почему?

Центральное место в Кайдзен занимает производственный цех или гемба (место создания продукции или услуг). Усилия подразделений фирмы влияют

на её стратегию в целом. Руководитель должен регулярно посещать гембу — только там он находится в «центре мироздания» компании. Он должен проводить в гембе гораздо больше времени, чем за собственным рабочим столом. Если руководитель оставляет гембу без внимания, все показатели компании постепенно ухудшатся: расходы вырастут, качество продукции и услуг снизится, моральный климат в коллективе испортится, время выполнения заказов увеличится, а рекламаций от клиентов станет больше.

Весь инженерно-технический персонал в японских компаниях комплектуется из бывших квалифицированных рабочих собственной фирмы. При этом основной особенностью японской системы управления персоналом является система пожизненного найма.

Пожизненный найм — не юридическое право, а, скорее, способ мышления обеих сторон — и нанятого работника, и нанимателя, а также способ их взаимодействия. Например, когда прибыли падают, компания принимает самые разные меры по снижению издержек вплоть до сокращения дивидендов, до последнего избегая увольнения работников.

Японским компаниям требуются переданные делу и предприятию работники,

Принципы менеджмента Тойота

1. Принимай управленческие решения с учётом долгосрочной перспективы, даже если это наносит ущерб краткосрочным финансовым целям.
2. Выявлению проблем способствует процесс в виде непрерывного потока.
3. Используй «вытягивающую» схему, чтобы избежать перепроизводства. Организация работы производства должна быть выстроена так, чтобы потребитель получил всё необходимое в нужное время и в нужном количестве.
4. Чтобы создать правильное бережливое производство и повысить качество обслуживания, следует выровнять график производства, не всегда строго следуя порядку поступления заказов.
5. Останавливай производство, если того требует качество.
6. Стандартные задачи и делегирование полномочий сотрудникам — основа непрерывного совершенствования.
7. Используй визуальный контроль, чтобы ни одна проблема не осталась незамеченной.
8. Используй только надёжную, испытанную технологию.
9. Воспитывай лидеров, которые досконально знают своё дело, исповедуют философию компании и могут научить этому других.
10. Воспитывай незаурядных людей и формируй команды, исповедующие корпоративную философию.
11. Уважай своих партнёров и поставщиков, ставь перед ними трудные задачи и помогай совершенствоваться.
12. Хочешь разобраться в ситуации — посмотри на всё своими глазами.
13. Принимай решение не торопясь, взвесив все возможные варианты.
14. Сделай свою компанию обучающейся организацией за счёт неустанного анализа и непрерывного совершенствования.



Рис. 3. Трёхмерные сантиметровые линейки

заинтересованные в достижении не столько сиюминутных (тактических), сколько более или менее отдаленных (стратегических) целей. Принцип ориентирования на перспективу побудил прибегнуть к методу найма, практически не имевшему аналога ни в Европе, ни в Америке. Следует сразу заметить, что пожизненный найм характерен только для средних и крупных фирм. В мелких компаниях этот метод не является доминирующим.

Пожизненно нанятый работник с момента поступления на фирму ощущает стабильность своего положения. Он проникается уверенностью в том, что если компания хорошо функционирует, ему гарантируется занятость. В крупных японских фирмах практикуются различные методы выхода из спада, однако к увольнению рабочих стараются не прибегать. Для рядового работника такое положение вещей является стимулирующим фактором. Кроме чувства уверенности, что само по себе очень важно, человек ощущает материальные блага пожизненного найма, т.к. его заработная плата постоянно растёт. В Японии, как известно, старший по возрасту или ветеран фирмы получает больше младшего сотрудника или новичка.

Поскольку в основе идеологии Кайдзен лежит методичное, постепенное и долгосрочное совершенствование всех элементов, составляющих бизнес, внедрение этой системы может дать видимый эффект только через несколько лет. Исходя из моего опыта, идея усовершенствования какого-либо процесса, даже самого незначительного, может возникнуть у сотрудника либо на базе огромного опыта, либо путём глубокого изучения и анализа конкретного вопроса. Первые действительно ценные предложения сотрудник начинает подавать не ранее чем через 3–5 лет работы на одном месте. При среднем уровне коэффициента текучести на производстве 10–20% за 5 лет может смениться более половины коллектива сотрудников. Таким образом, если в компании текучесть кадров превышает её обычные значения (2–5%), ожидать активности от сотрудников в сфере внесения предложений не приходится. Одновременно с этим необходимо учитывать стаж работы

сотрудников. Если средний стаж небольшой, то использование методов Кайдзен осложняется.

Кайдзен позволяет заинтересовать результатами деятельности компании сотрудника с большим стажем работы на одном месте. Иначе сотрудник очень быстро устанет («перегорит») от скучного, неинтересного и монотонного труда. По статистике, увольнения по этой причине стоят на втором месте после неудовлетворённости размером заработной платы. Применяя Кайдзен, сотрудник вносит частицу творчества в работу, увеличивая собственный интерес к ней и доход.

Рассмотрим отдельно вопрос влияния текучести персонала на эффективность компании. Коэффициент текучести персонала представляет собой отношение числа уволенных работников предприятия, выбывших за определенный период из-за текучести кадров (по собственному желанию, за прогулы, нарушение техники безопасности и т.д.), к среднесписочной численности за тот же период. Помимо того, что при высокой текучести персонала невозможно решить важные стратегические задачи (например, перевести квалифицированных рабочих на инженерно-технические должности), увольнение работников с их последующей заменой может стать дорогостоящим мероприятием для компании. Стоимость текучести кадров увеличивается в ещё большей мере, если речь идёт об узкоспециализированных сотрудниках, которым труднее найти замену.

Стоимость текучести кадров складывается из следующих составляющих.

1. Низкий уровень производства в период обучения новичков.
2. Упущенный объём производства во время замены работника.
3. Оплата сверхурочной работы других работников, вынужденных выполнять работу в период замены сотрудника.
4. Возможное использование на простой работе более квалифицированных сотрудников в ожидании замены.
5. Стоимость брака и отходов в период освоения работы новичком.
6. Стоимость привлечения, отбора и освидетельствования.
7. Затраты на обучение и минимальную зарплату работника во время обучения.
8. Административные расходы на оформление и увольнение сотрудников.

По экспертным оценкам специалистов в области персонала, стоимость привлечения нового сотрудника в организацию составляет в среднем от трёх окладов нового сотрудника для простых специальностей и до шести окладов — для узкоспециализированных работников. Эти оценки даны при условии, что новый сотрудник пройдёт испытательный срок. В противном случае потребуются новые затраты.

Таким образом, при высоком значении коэффициента текучести персонала компания не только несёт существенные расходы, которые не всегда очевидны, но и испытывает трудности с использованием любых методов управления производством, в т.ч. принципов Кайдзен.

Самое главное, что внедрение методов Кайдзен на производстве создаёт в компании ДУХ творчества, созидания, соревнования и успеха. Сотрудник компании, приходя на работу и выполняя множество однотипных операций, должен быть уверен в том, что со временем будут решены все проблемы при их выполнении, рабочее место станет удобнее, а устранение лишних факторов увеличит производительность труда и его доход. Нельзя принуждать использовать Кайдзен, но следует поощрять его использование.

Все, кто приходит на наш склад и видит, что сотрудники не только выполняют определённые операции, но и активно участвуют в обсуждении и внедрении усовершенствований, говорят, что у нас ЖИВОЙ СКЛАД. Этот дух жизни обеспечивают сотрудники, увлечённые принципами Кайдзен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масааки Имаи. Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success.

НОВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

| НОВЫЙ ДАТЧИК КАСАНИЯ РАБОТАЕТ ДАЖЕ ЧЕРЕЗ СТАЛЬ И СТЕКЛО | Компания Peratech из Йоркшира предлагает купить лицензию на сенсорные датчики, работающие через сталь и стекло.

Датчик QTC Ultra определяет касание при деформации величиной всего около 1 мкм.

По словам Дэвида Ласси (David Lussey), технического директора Peratech, компания разработала конструкцию датчика с такой чувствительностью, что он будет определять давление пальца на лист под листом нержавеющей стали толщиной 0,1 мм или стекла толщиной 0,5.

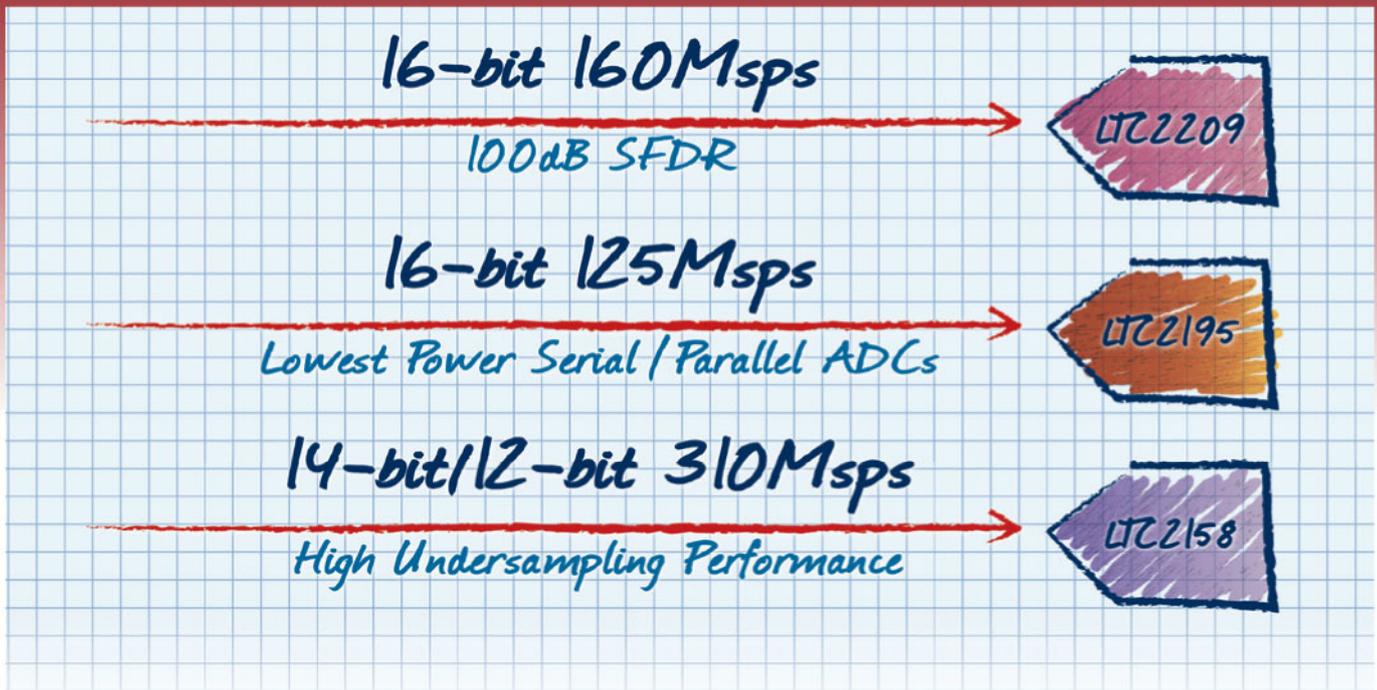
Интеллектуальную собственность компании составляет ряд эластомеров — композиты с эффектом квантового туннелирования (QTC), которые изменяют сопротивление при деформации. Они состоят из наноразмерного проводящего материала, равномерно распределённого в непроводящем полимере.

Датчик QTC Ultra решает проблему установки традиционных выключателей в изделия, т.е. его можно выполнить в виде небольшого листа или экрана из QTC, напечатанного на обратной стороне стальной пластины изделия. Эта конструкция работает одинаково хорошо и с другими материалами, такими как пластик, стекло или дерево, обладающими достаточной гибкостью для приведения в действие QTC-выключателя.

Датчики также можно применять в качестве секретных выключателей за полупрозрачным материалом.

www.russianelectronics.ru

Лицензионные АЦП с полной поддержкой



Заказывайте АЦП через авторизованные каналы

Мы делаем это простым:

- Полная гарантия при поставке через авторизованные каналы
- Доступный и простой способ заказа подлинных микросхем Linear Technology
- Помощь в получении необходимых экспортных лицензий

Упрощаем Вашу разработку:

- Большой выбор быстродействующих одно- и многоканальных АЦП с малым потреблением
- Полностью протестированные и гарантированные характеристики во всём диапазоне температур
- Простые в использовании средства разработки
- Команда квалифицированных специалистов по применению поможет в разработке

За технической поддержкой и по вопросам лицензирования обращайтесь:

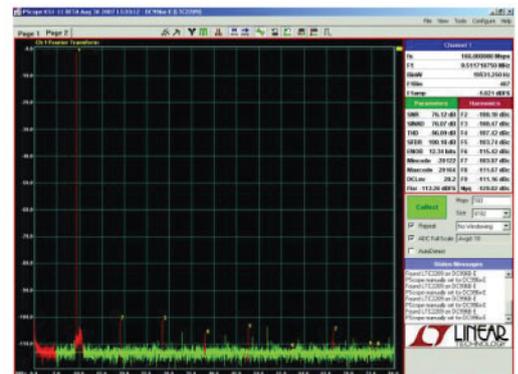
Arrow Electronics St. Petersburg
Tel: +7 812 3343101
Fax: +7 812 3343102

Petersburg Electronic Company
Tel: +7 812 365 65 92
Fax: +7 812 365 65 93

JSC Gamma

Tel: +7 813 78 3 15 09
Fax: +7 813 78 3 54 77

Программа PScope™ для сбора данных, анализа и разработки



www.linear.com/PScope

LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks and PScope is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

Linear Technology AB (Finland) +358-46-712 21 71
Linear Technology AB (Sweden) +46-8-623 16 00
nordicsales@linear.com



Официальные Дистрибьюторы
Arrow Electronics St. Petersburg +7-812-334 31 01
Гамма +7-813-783 15 09
Петербургская Электронная Компания +7-812-365 65 92



ПРОДУКЦИЯ TE Connectivity

Реле сигнальные и силовые

Разъемы для светодиодов

Обжимной инструмент

Соединители на плату и кабель

Маркировка и идентификация кабеля

Клеммы и наконечники

Панельки для компонентов



Authorized Distributor



www.platan.ru

Офисы в Москве: м. Молодежная; ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97 000 99, platan@aha.ru;
м. Новослободская: 1 й Щемилковский пер., 16, стр.2 (495) 744 70 70, platan@platan.ru

Офис в Санкт Петербурге: ул. Зверинская, 44 (812) 232 88 36, baltika@platan.spb.ru

Представительства: Воронеж (473) 259 76 92; Екатеринбург (343) 370 33 84; Казань (843) 292 18 06;
Киев +38 (044) 494 37 92; Новосибирск (383) 216 33 66, 216 57 73; Омск (3812)272 640;
Ростов на Дону (863) 282 63 15; Ставрополь (8652) 554 074; Томск (3822) 55 65 30; Ульяновск (8422) 300 150;
Уфа (347) 235 63 73, 233 11 37; Чебоксары (8352) 57 42 73, 57 36 17