

ПРЕЦИЗИОННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА С ДАТЧИКОВ НА ВРАЩАЮЩИХСЯ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Фрэнк Онхаузер, руководитель разработки АЦП для управления двигателями

В статье рассмотрен нестандартный вариант построения электронной части прецизионного блока измерения углов поворота ротора электродвигателя, использующий в качестве датчика вращающиеся трансформаторы. Предложенная схема позволяет при минимальной стоимости обеспечить высокую точность измерений — до 15,5 значащих разрядов.

В системах управления электроприводом в качестве прецизионных датчиков для определения угла положения и скорости вращения привода удобно использовать синус-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ). Для использования выходных сигналов СКВТ необходимо их преобразование в цифровую форму, для чего сейчас используются достаточно дорогие микросхемы АЦП. Компания Texas Instruments (TI) создала двоярный дельта-сигма модулятор ADS1205 и цифровой фильтр, АМС1210, которые позволяют значительно удешевить такие преобразователи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

СКВТ имеет три обмотки — одну на роторе и две на статоре. Роторная обмотка вращается вместе с валом привода. Статорные обмотки неподвижны и сдвинуты относительно друг друга на 90 градусов (см. рис. 1). Таким образом, СКВТ представляет собой трансформатор с коэффициентом трансформации, зависящим от угла поворота ротора.

Входное синусоидальное напряжение прикладывается к роторной обмотке СКВТ и передается во вторичные статорные обмотки. Выходное напряжение оказывается амплитудно модулированным в соответствии с углом поворота ротора. Кроме того, выходные сигналы имеют взаимный фазовый сдвиг в 90 градусов.

Угол положения ротора может быть вычислен после демодуляции сигналов статорных обмотк. В результате мы получаем собственно синус и косинус

угла положения. Так как математическая обработка обычно осуществляется с присенением ЦСП, то сигналы должны быть оцифрованы.

На рынке существует несколько специализированных микросхем, решающих эту задачу, однако они настолько дороги, что в большинстве случаев оказывается целесообразнее разработать собственную схему.

Одним из распространенных решений является совмещение процессов АЦП и демодуляции за счет преобразования сигнала в один и тот же фиксированный момент времени, в момент достижения им максимума. Однако такой режим синхронного преобразования-детектирования не позволяет использовать сигма-дельта АЦП, т.к. такой

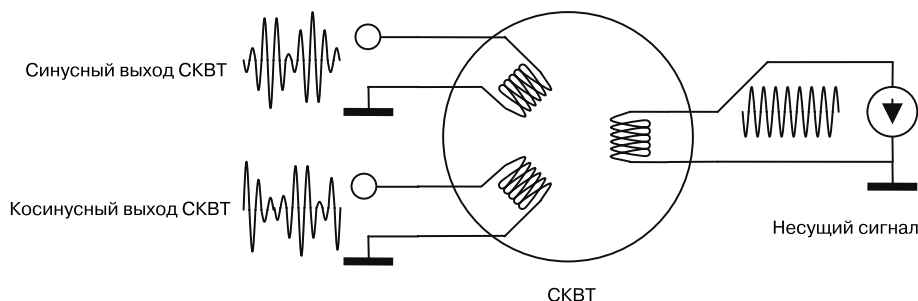


Рис. 1. Входные и выходные сигналы СКВТ

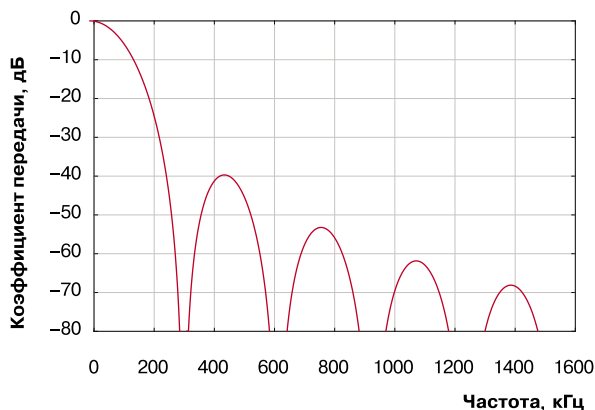


Рис. 2. АЧХ фильтра Sinc 2 порядка

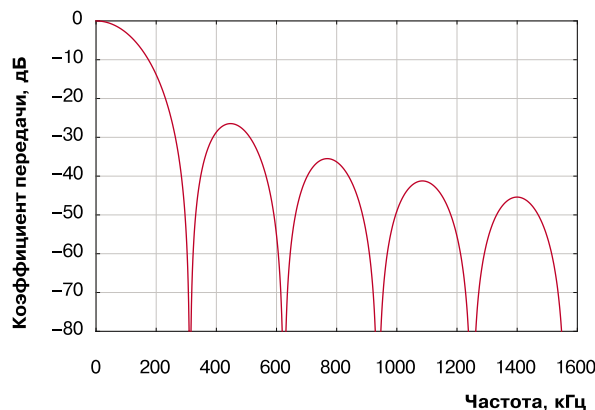


Рис. 3. АЧХ фильтра Sinc 3 порядка

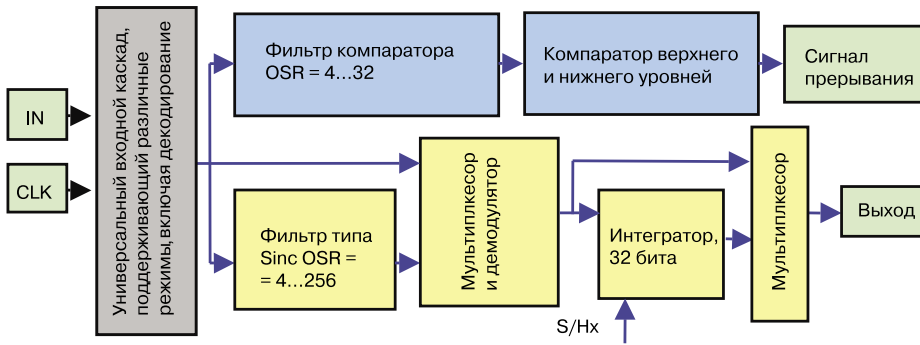


Рис. 4. Блок-схема канала цифровой фильтрации ИС AMC1210

АЦП осуществляет усреднение входного сигнала на интервале преобразования. Приходится использовать АЦП последовательного приближения, например, ADS7861 или ADS8361, что ограничивает разрешающую способность на уровне 12–14 бит.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

Новая концепция основана на использовании передискретизации (over-sampling) с последующей демодуляцией уже в цифровой форме. При этом используются сдвоенный дельта-сигма модулятор ADS1205 и цифровой фильтр AMC1210.

Модулятор вырабатывает однобитовую последовательность, которая существенно отличается от цифрового сигнала обычного АЦП. Для преобразования этого битового потока в цифровой код используется цифровой фильтр. Простейшим примером такого фильтра является фильтр типа sinc. АЧХ такого фильтра второго и третьего порядка показана на рисунках 2 и 3.

На частотах, кратных частоте модулятора, деленной на коэффици-

ент передискретизации, наблюдаются глубокие провалы АЧХ, так называемые полюса. Для подавления несущей коэффициент передискретизации выбирается таким, чтобы один из полюсов АЧХ совпал с несущей частотой. Однако демодуляцию сигнала следует производить до фильтрации, чтобы сохранить информацию о фазовом соотношении сигналов. Эта задача решается с помощью микросхемы AMC1210.

Эта ИС содержит четыре канала, структурная схема которых представлена на рисунке 4. Голубым цветом выделены фильтр и компаратор, формирующие выходной сигнал низкого разрешения с малым временем задержки. Этот сигнал используется для работы защиты от перегрузки по току. Желтым цветом обозначены блоки, используемые для формирования сигнала с высоким разрешением и относительно небольшой частотой выборки. Именно он используется в канале управления приводом. Sinc-фильтр и интегратор позволяют оптимизировать работу устройства в соответствии с нуждами конкретного приложения. Эти же

блоки используются для демодуляции сигнала.

Сначала битовый поток обрабатывается sinc-фильтром для преобразования в поток слов среднего разрешения и средней скорости.

Для выбора коэффициента прореживания рассмотрим рисунок 5. Здесь показана зависимость эффективного количества бит на выходе АЦП от коэффициента прореживания для различных порядков цифрового sinc-фильтра. Из рисунка следует, что для микросхемы ADS1205 наиболее эффективным коэффициентом прореживания будет 128, т.к. далее даже его удвоение увеличит эффективное количество бит всего на 0,5, причем задержка в преобразователе существенно возрастет. Аналогичного улучшения при существенно меньшей задержке можно добиться, включив после демодулятора интегратор.

При выборе коэффициента прореживания 128 на выходе мы получим сигнал с разрешением 14 бит при частоте выборок, равной

$$f_{\text{выб}} = \frac{f_{\text{мод}}}{2K_{\text{прор}}},$$

где $f_{\text{мод}}$ — тактовая частота модулятора. В нашем случае тактовая частота составляет 32,768 МГц, в результате частота выборок составит 128 кГц.

Процесс демодуляции показан на рисунке 6 и состоит в следующем. 14-битное значение сигнала умножается на +1, если немодулированный сигнал имеет положительное значение, и на -1 при отрицательном значении немодулированного сигнала. При этом необходимо учитывать фазовые сдвиги в самом СКВТ, его обмотках, модуляторе и sinc-фильтре. Именно для этого микросхема содержит цепь коррекции сдвига фазы, которая эффективна до величины сдвига в 90 градусов. Большой сдвиг необходимо задать программно через специальный внутренний регистр.

Коэффициент прореживания интегратора должен быть установлен таким образом, чтобы несущая частота была кратна частоте полюса передаточной характеристики фильтра в целом. Во временной области это утверждение равнозначно требованию интегрирования сигнала в течение нескольких целых периодов тактовой частоты несущей. В результате несущая частота окажется полностью подавленной. В нашем примере коэффициент про-

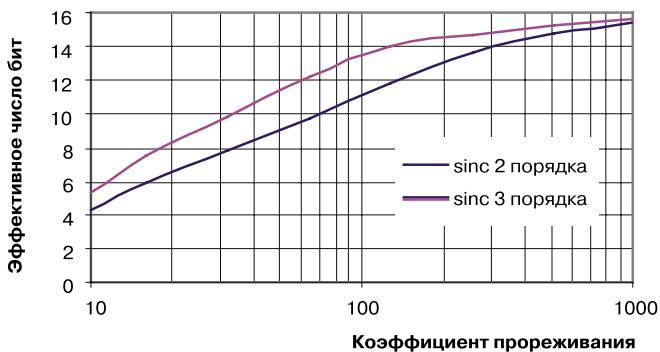


Рис. 5. Число эффективных бит в зависимости от коэффициента прореживания для ADS1205

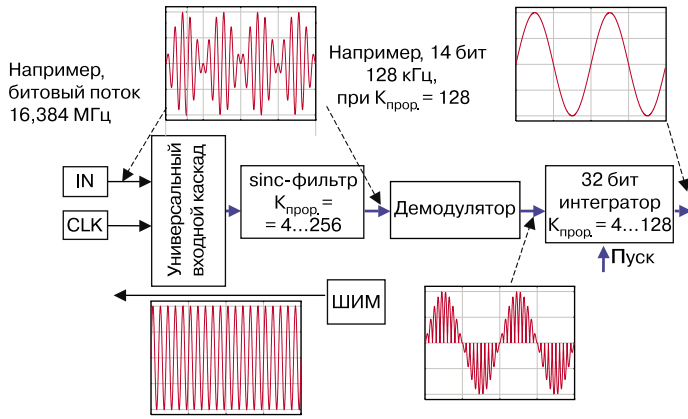


Рис. 6. Процесс демодуляции сигнала СКВТ в AMC1210

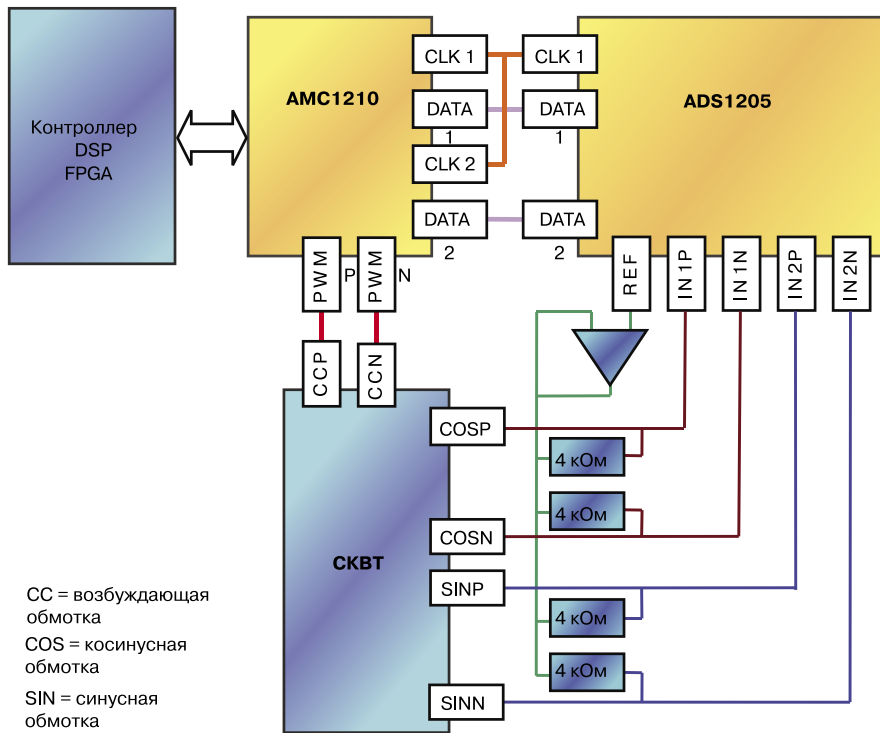


Рис. 7. Блок-схема тестовой системы

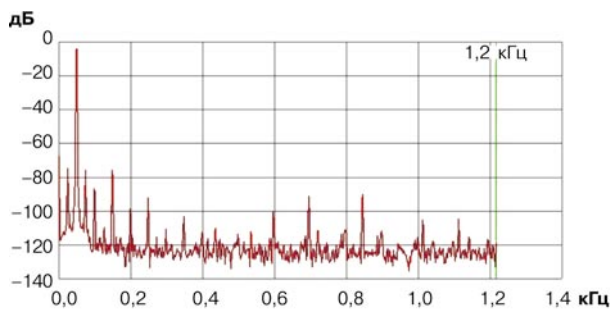


Рис. 8. БПФ-спектр сигнала на выходе синусной обмотки при частоте вращения 3000 об./мин

реживания выбран равным 16, что добавляет еще 2 бита разрешения из расчета 0,5 бита на двукратное прореживание. В то же время амплитуда сигнала уменьшается на 3 дБ, что соответствует потери 0,5 бита разрешения. Это вызвано тем, что интегратор вычисляет среднее, а не пиковое значение выходного сигнала.

В результате на выходе микросхемы AMC1210 получается синусоидальный или косинусоидальный выходной сигнал с частотой 8 кГц и уровнем шумов, соответствующим разрешению 15,5 бит.

СИНХРОНИЗАЦИЯ

Очень важно обеспечить синхронность определения угла положения и сигналов управления приводом. Для этого необходимо обеспечить возможность перестройки частоты выборки и несущей частоты.

Микросхема AMC1210 имеет ряд внутренних регистров, определяющих параметры и структуру фильтра. И порядок (от первого до третьего), и коэффициенты прореживания (от 1 до 256) sinc-фильтра задаются программно. Интегратор может работать с фиксированной частотой сброса (определяемой коэффициентом прореживания), или асинхронно управляться внешним сигналом.

Несущая частота формируется в AMC1210 с использованием ШИМ. Для этого предназначен сдвиговый регистр емкостью 1024 бит, хранящий форму одного периода синусоидального несущего сигнала. Битовый ШИМ-поток может быть сформирован с помощью простой программы на языке С, эмулирующей работу сигма-дельта модулятора. Исходными данными для программы является форма сигнала несущей, а результатом работы — поток битов, соответствующий ШИМ-сигналу, который и сохраняется в сдвиговом регистре. После программирования AMC1210 циклически выводит заданное количество бит из сдвигового регистра, обеспечивая генерацию непрерывного сигнала несущей. Например, если тактовая частота равна 30,016 МГц и частота пелли управления составляет 8 кГц, то каждый цикл состоит из 3752 тактов, что превышает размер сдвигового регистра. Однако можно воспользоваться встроенным делителем частоты. При коэффициенте деления, равном 4, и использовании 938 бит сдвигового регистра, мы получим необходимое число тактов.

multimec RAS

navimec

multimec 1GA

illumec

varimec

aquamec

- Более 10 000 000 срабатываний
- Уровень влагозащищенности – IP67
- Возможность индивидуального дизайна
- Модульность исполнения
- Поверхностный монтаж (SMD-исполнение)
- Варианты со светодиодами

mec

высоконадёжные кнопки для ответственных применений

ООО «МФК Точка Опоры» – единственный дистрибьютор MEC в России.

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОФИС

тел: (495) 956-3942, 739-8555 (многоканальные)
факс: (495) 956-3943, e-mail: mec@fulcrum.ru

НОВОСИБИРСКИЙ ФИЛИАЛ

тел./факс: (383) 269-3309
e-mail: nsk@fulcrum.ru



ОПТОНИКА

МОШНЫЕ СВЕТОДИОДЫ “ПИРАНЬЯ”

СВЕТОВОЙ ПОТОК БОЛЕЕ 5 ЛЮМЕН
УГОЛ ОБЗОРА 120 ГРАДУСОВ



от 5⁹⁵
рублей



(095)961-26-91; www.optonika.ru, optonika@aha.ru

Tyco Electronics
Authorized Distributor

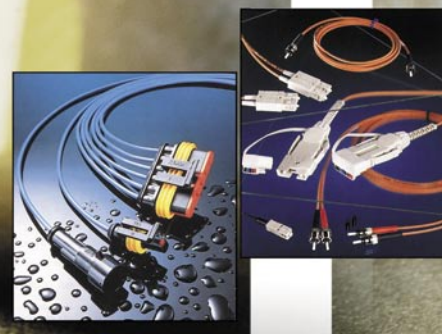
ПЛАТАН
www.platan.ru
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ

IOR

СОЕДИНИТЕЛИ И РАЗЪЕМЫ



- коаксиальные разъемы
- разъемы высокой плотности
- разъемы для ВОЛС
- разъемы для спецприменений
- колодки PLCC
- автомобильные разъемы
- монтажный инструмент



Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, стр. 2
Тел./факс: (495) 97-000-99

Почта: 121351, Москва, а/я 100
E-mail: platan@aha.ru

Выход ШИМ-сигнала является комплементарным, причем обеспечивается выходной ток до 100 мА. Это позволяет формировать дифференциальный выход несущей с выходным сигналом с размахом ± 5 В (при однополярном питании +5 В), который можно подавать на роторную обмотку СКВТ. Так как СКВТ представляет собой ФНЧ с частотой среза намного меньшей, чем тактовая частота ШИМ-формирователя, на выходе СКВТ мы получим синусоидальный амплитудно-модулированный сигнал. Гармоники несущей частоты не влияют на работу системы, так они попадают в область полюсов передаточной функции цифрового фильтра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для проверки работоспособности изложенной концепции была использована схема, представленная на рисунке 7. ШИМ-выходы микросхемы АМС1210 подключались к роторной обмотке напрямую. Для задания уровня выходных сигналов СКВТ использовался встроенный в

АДС1205 источник опорного напряжения. Т.к. этот источник имеет высокое выходное сопротивление, использовался буферный усилитель. Низкое выходное сопротивление СКВТ позволило напрямую подключить их ко входам модулятора.

Результаты исследований полученного устройства приведены на рисунке 8 в виде спектрограммы, полученной в результате быстрого преобразования Фурье демодулированного и оцифрованного сигнала. Для управления двигателем использовался преобразователь частоты, в результате частота вращения оказалась нестабильна. Уровень шумов составляет -120 дБ, что соответствует точности порядка 14 бит. Использование ортогональных сигналов (синусоидального и косинусоидального) позволяет увеличить разрешение еще на 2 бита.

Как видно из результатов тестирования, схема, созданная на основе изложенной концепции, позволяет в реальных условиях обеспечить точность измерений в пределах 15,5

бит. Кроме того, следует помнить, что специализированные ИС для обработки сигнала СКВТ-датчиков стоят не менее 20 долл, а стоимость системы, построенной на базе стандартных АЦП последовательного приближения, составит не менее 7,5 долл. при достижимой точности порядка 12 бит. Комплект же ИС АДС1205 и АМС1210 стоит около 5 долл. США в партиях от 1 тыс. штук. Таким образом, выбранная концепция позволяет создавать дешевые прецизионные системы для измерения угла поворота и скорости вращения роторов электродвигателей. Ее единственным недостатком, который может оказаться существенным при использовании в замкнутой петле управления, является фиксированная временная задержка, вносимая цифровым фильтром, что требует введения соответствующей коррекции.

Перевод Ильи Голубева, инженера по применению аналоговых компонентов TI

www.kbetalon.ru





ПРОМЫШЛЕННАЯ СБОРКА ЭЛЕКТРОНИКИ

Печатные платы и электронные компоненты под проект
 Поверхностный монтаж 0402, BGA, CSP, mBGA
 Выводной монтаж, Пайка Волной
 Автоматизированный оптический контроль
 Внутрисхемный электрический контроль
 Программирование, Финишная сборка изделий




125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 13, тел (495) 651 06 26, (495) 743 86 39, sales@kbetalon.ru