

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ LDO-РЕГУЛЯТОРЫ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ПОДАВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ

МАСАХИ НОГАВА (MASASHI NOGAWA), КАЙЛ ВАН РЕНТЕРГЕМ (KYLE VAN RENTERGHEM), Texas Instruments

При создании LDO-регуляторов основное внимание уделяется качеству выходного сигнала, а не эффективности преобразования. Поскольку LDO-регуляторы — не импульсные устройства, в них отсутствует шум переключения, т.е. они фактически могут служить вторичными фильтрами такого шума, что улучшает качество выходного сигнала в приложениях, критичных к уровню шума. В статье излагаются ключевые требования к LDO-регуляторам по обеспечению эффективного подавления пульсаций источников питания (PSRR).

LDO-РЕГУЛЯТОР КАК ФИЛЬТР ПУЛЬСАЦИЙ

Разработчики силовой электроники обычно используют LDO-регуляторы (устройства с малым падением напряжения) в последнем каскаде системы питания. На рисунке 1 проиллюстрирована базовая концепция фильтра пульсаций. В первом каскаде импульсный регулятор преобразует входное напряжение источника питания V_{IN} в промежуточное напряжение ($V_{INTERMEDIATE}$). Во втором каскаде LDO-регулятор преобразует напряжение $V_{INTERMEDIATE}$ в выходное напряжение V_{LDO} .

Цель такой структуры — повысить эффективность преобразования мощности в первом каскаде и удалить шумы переключения во втором каскаде.

Наиболее важным фактором минимизации шумов переключения во втором каскаде является подавление пульсаций источника питания (PSRR). Коэффициент PSRR характеризует подавление входных пульсаций. Как правило, он измеряется в децибелах и вычисляется в соответствии с выражением:

$$PSRR = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}} \right) \quad (1)$$

PSRR — широко известный, принятый в среде силовой электроники термин, и на рынке предлагается немало LDO-регуляторов с высоким уровнем PSRR. В этой статье объясняется, почему большинство LDO-регуляторов с высоким уровнем PSRR не может быть использовано в качестве фильтров пульсаций.

КРИВАЯ PSRR

На рисунке 2 показана кривая PSRR традиционного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR, 75-дБ пик PSRR которого находится в диапазоне частот 600–700 Гц. Хотя этой величины достаточно для того, чтобы получить LDO-регулятор с высоким уровнем PSRR, важно, чтобы подавление пульсаций происходило на частоте переключения источника питания. Например, частота переключения современных импульсных регуляторов находится в интервале 300 кГц...6 МГц. К сожалению, высокочастотный шум находится за пределами полосы частот большинства типовых регуляторов с высоким уровнем PSRR, поэтому у LDO-регуляторов может не хватить быстродействия для эффективной фильтрации шумов переключения.

Показанная на рисунке 2 кривая состоит из трех зон. Первая зона

находится в частотном диапазоне 10 Гц...1 кГц, в котором наблюдается высокий уровень PSRR, а кривая имеет сравнительно гладкий вид. Вторая зона — 1...110 кГц — характеризуется постоянным уменьшением PSRR. В третьей зоне с частотами выше 110 кГц PSRR снова начинает расти.

Первая и вторая зоны представляют полосу частот эффективного PSRR, т.е. полоса эффективного подавления пульсаций у источника питания традиционных LDO-регуляторов с высоким уровнем PSRR составляет 110 кГц. В третьей зоне увеличение PSRR происходит за счет изменения импеданса выходного конденсатора, паразитного импеданса платы и самого конденсатора, в то время как собственно LDO-регулятор в этой зоне никак не влияет на уровень PSRR.

На рисунке 3а показана упрощенная схема LDO-регулятора, состоя-

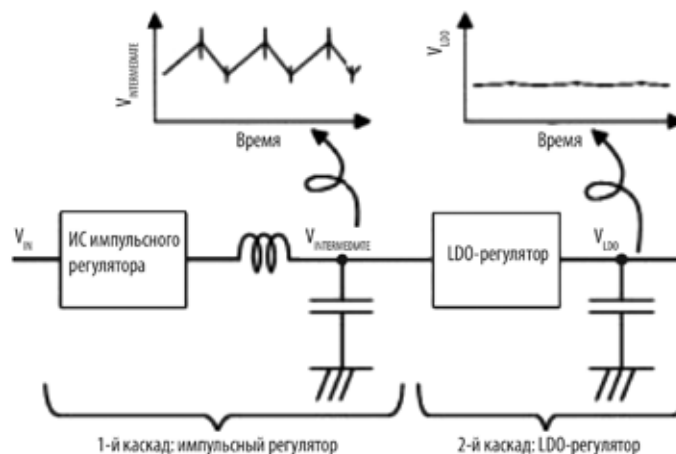


Рис. 1. LDO-регулятор как фильтр пульсаций

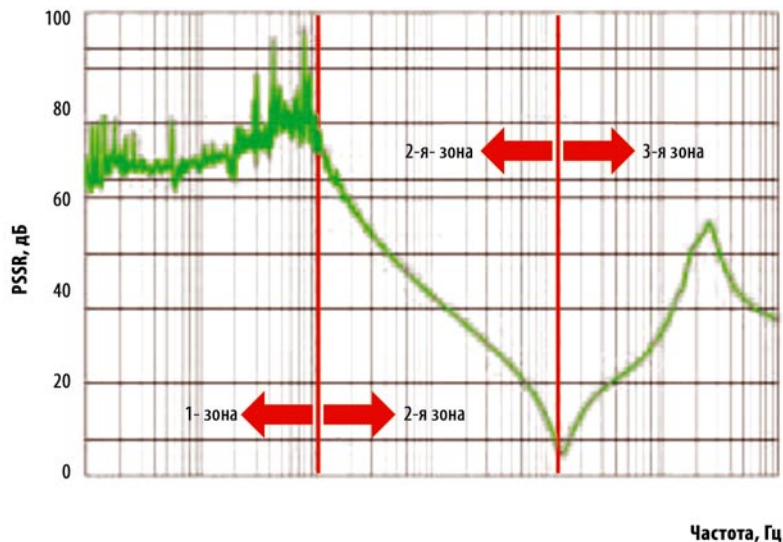


Рис. 2. Кривая PSRR традиционного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR

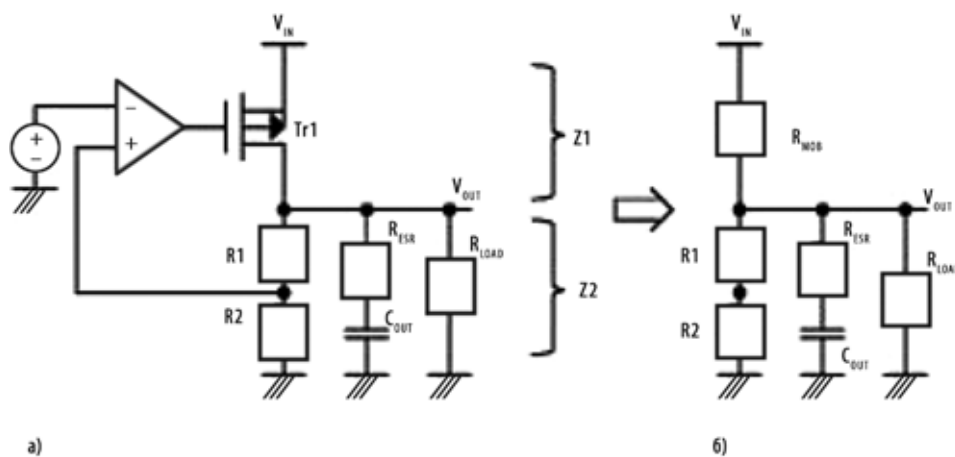


Рис. 3. Упрощенная схема LDO-регулятора

щего из проходного транзистора T_{r1} , резистора обратной связи R_1 , резистора R_2 и выходного конденсатора C_{OUT} с эквивалентным последовательным сопротивлением R_{ESR} , а также сопротивления нагрузки R_{LOAD} . С точки зрения поведения PSRR, рисунок 3А можно разделить на две части: Z_1 и Z_2 . В этом случае PSRR определяется следующим образом:

$$PSRR = -20 \log_{10} \left(\frac{z_2}{z_1 + z_2} \right). \quad (2)$$

В первой зоне графика PSRR усилитель рассогласования имеет высокий коэффициент усиления. Благодаря этому Z_1 хорошо регулируется, что способствует повышению PSRR.

На границе между первой и второй зонами коэффициент усиления усилителя начинает уменьшаться, обычно со скоростью 20 дБ/декаду. Меньшие зна-

чения коэффициента усиления ведут к снижению чувствительности контура обратной связи к изменениям выходного напряжения, поэтому скорость изменения импеданса проходного транзистора в ответ на входные возмущения также уменьшается, чем и объясняется падение PSRR регулятора во второй зоне.

С ростом частоты импеданс выходного конденсатора падает, что усиливает ослабление пульсаций на выходе устройства. Именно этим объясняется рост PSRR регулятора в третьей зоне. На границе между второй и третьей зонами импеданс Z_2 снижается до уровня, после которого большинство сигналов закорачивается через конденсатор на землю, вместо того чтобы активно ослабляться LDO-регулятором. Поскольку в третьей зоне LDO-регулятор не вносит существенного вклада в PSRR, проходной транзистор можно считать резистором, который всего лишь пассивно ослабляет пульсации. На рисунке 3Б проиллюстрирована эта ситуация.

На рисунке 4 показан идеальный график PSRR, который можно было бы получить при использовании в схеме рисунка 3Б идеальных пассивных компонентов. График был получен с помощью типовых значений параметров реальных ИС. В этой статье R_{MOS} рассчитывалось по следующему уравнению:

$$R_{MOS} = \frac{[V_{in} - V_{out}]}{I_{out}}, \text{ где}$$

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R_{load}}. \quad (3)$$

Эта кривая очень похожа на поведение PSRR в третьей зоне на рисунке 2. Рисунок 3Б является хорошим концептуальным представлением LDO-регулятора в этой зоне.

Индустриальная Автоматика



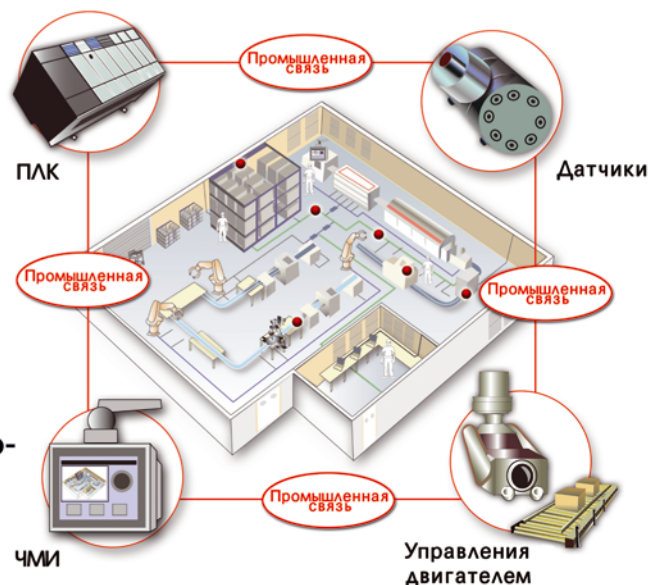
Ускорьте время проектирования с промышленными решениями от TI

Широкое портфолио системно-оптимизированного аппаратного, программного обеспечения и инструментов

Ассортимент продукции TI для автоматизации промышленного производства - от 8-битных и 32-битных микроконтроллеров ARM® Cortex™-M3 до микропроцессоров ARM® Cortex™-A8, систем управления электропитанием, интерфейсов и промышленных драйверов - предлагает новейшие технологии, системную экспертизу и глобальную поддержку, чтобы удовлетворить строгие требования надежности и исполнения в критической среде.

Узнайте больше о планах развития системно-оптимизированных продуктов от TI для каждого сегмента рынка промышленной автоматизации, в том числе :

- **Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ)**
- **Промышленная связь**
- **Управления двигателем**
- **Программируемый логический контроллер (ПЛК)**
- **Датчики**



Дополнительную информацию по поводу индустриальной автоматизации TI, образцов, руководств по применению и т.д. вы можете найти на www.ti.com/automation_ru

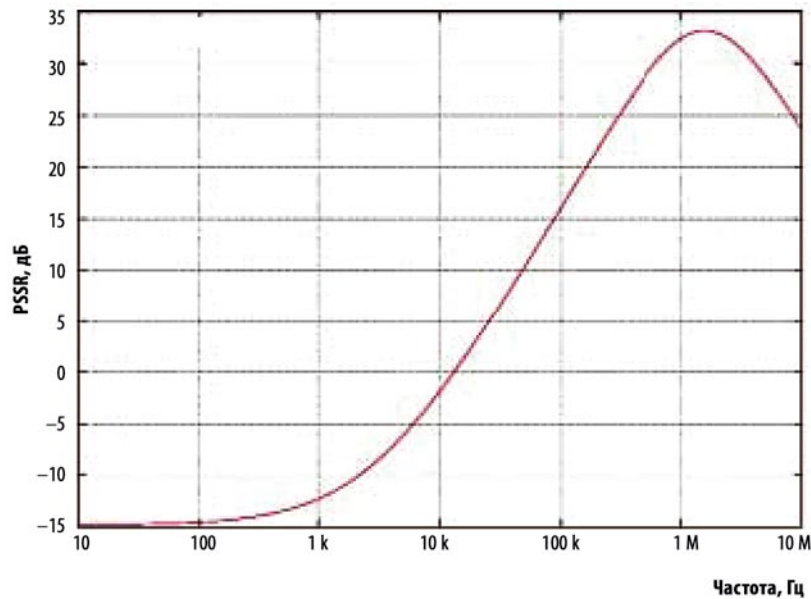


Рис. 4. График PSRR для схемы на рисунке 3б

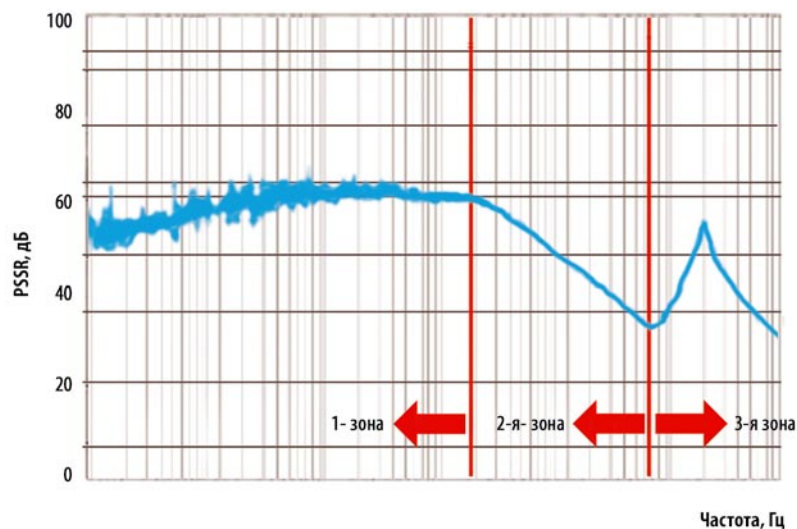


Рис. 5. График PSRR широкополосного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ LDO-РЕГУЛЯТОРЫ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ PSRR

Для решения проблемы высокочастотного PSRR были разработаны высокопроизводительные LDO-регуляторы, например, TPS7A8001 (см. рис. 5).

Широкополосный LDO-регулятор с высоким уровнем PSRR вместо очень больших значений PSRR в низкочастотной зоне должен иметь относительно высокий PSRR в рабочем частотном диапазоне современных импульсных регуляторов, который обычно составляет 300 кГц...6 МГц. На рисунке 3 частотный диапазон (первая и вторая зоны) эффективного PSRR у широкополосного LDO-регулятора составляет 1 МГц.

СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОВ

$V_{\text{INTERMEDIATE}}$ И V_{LDO}

На рисунках 6 и 7 проиллюстрирован эффект влияния высокочастотного входного шума на работу широкополосных LDO-регуляторов. Отметим, что приведенные графики соответствуют спектрам $V_{\text{INTERMEDIATE}}$, одинаковым для обоих LDO-регуляторов, и V_{LDO} . Приведенные диаграммы получены из Фурье-преобразований, которые сами по себе не являются графиками спектральной плотности. Такие диаграммы, как правило, используются для выявления поведения шумов. Рисунок 6 соответствует комбинации традиционного понижающего импульсного регулятора, соединенно-

го с традиционным LDO-регулятором с высоким уровнем PSRR. На рисунке 7 показана комбинация того же самого импульсного регулятора и широкополосного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR.

Самый большой пик $V_{\text{INTERMEDIATE}}$ находится на частоте переключения 285 кГц. Кривая $V_{\text{INTERMEDIATE}}$ также содержит гармоники частоты переключения и субгармоники. Величина пика на частоте 285 кГц составляет -43 дБВ, что эквивалентно 40-мВ размаху пульсаций:

Из сравнения рисунков 6 и 7 видно, что широкополосный LDO-регулятор справляется с пульсациями $V_{\text{INTERMEDIATE}}$ гораздо лучше традиционного. На частоте субгармоники 143 кГц тра-

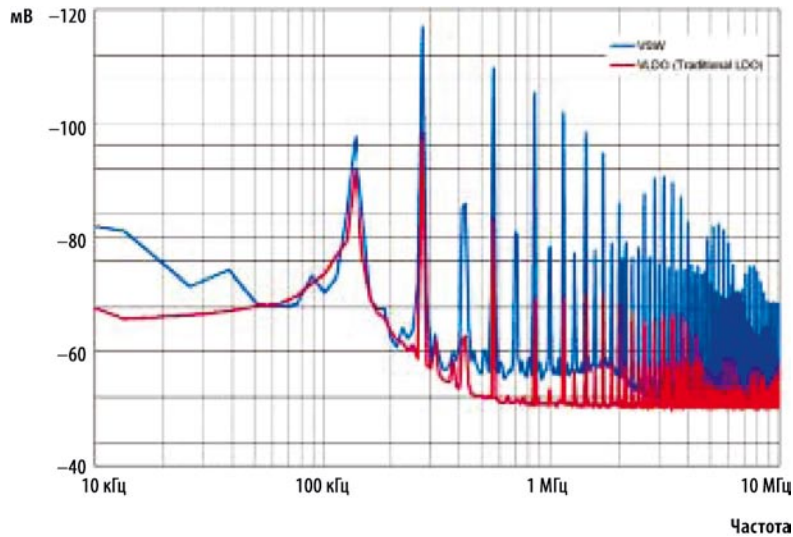


Рис. 6. Спектр традиционного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR

традиционный LDO-регулятор пропускает от входа к выходу большую часть пульсаций, поскольку на частоте 285 кГц в соответствии с рисунком 2 его кривая PSRR падает практически до нуля.

СРАВНЕНИЕ ФОРМ СИГНАЛОВ $V_{\text{INTERMEDIATE}}$ И V_{LDO} ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Рисунки 8 и 9, представляющие сигналы $V_{\text{INTERMEDIATE}}$ и V_{LDO} во временной области, подтверждают ослабление напряжения, описанное выше. Из рисунков видно, что $V_{\text{INTERMEDIATE}}$ одинаковое в обоих графиках, имеет форму синусоидального сигнала с размахом амплитуд приблизительно 40 мВ, что соответствует расчетам по уравнению (2), и с частотой порядка 285 кГц, что равно рабочей частоте переключения регулятора. У традиционного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR на выходе видна отчетливая синусоида, имеющая частоту входного сигнала (см. рис. 8). Оставшиеся пульсации на сигнале V_{LDO} оказывают влияние на все устройства, питающиеся от данного регулятора, что может сказаться на их работе.

Из рисунка 9 видно, что выходной сигнал широкополосного LDO-регулятора имеет практически сглаженный вид, что обеспечивает подачу качественного сигнала напряжения на подключенные к нему устройства.

Например, для корректной работы АЦП и ЦАП требуются источники питания с качественным выходным сигналом, например, LDO-регуляторы с высоким уровнем PSRR. Высоочастотные приложения также очень чувствительны к качеству сигналов источников питания, поскольку любые пульсации по шине питания

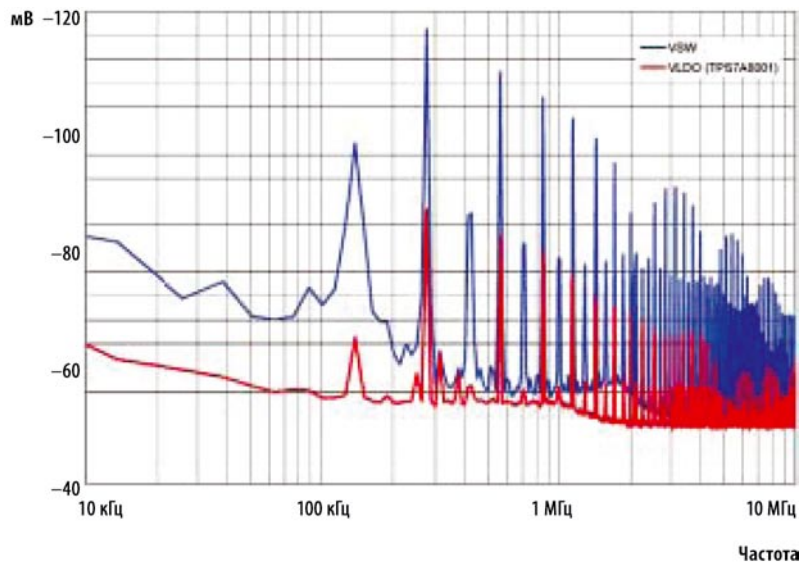


Рис. 7. Спектр широкополосного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR

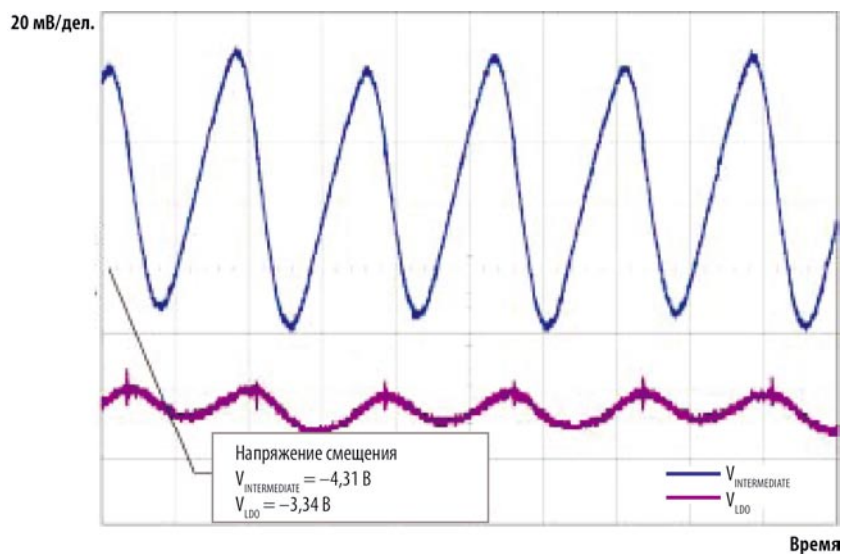
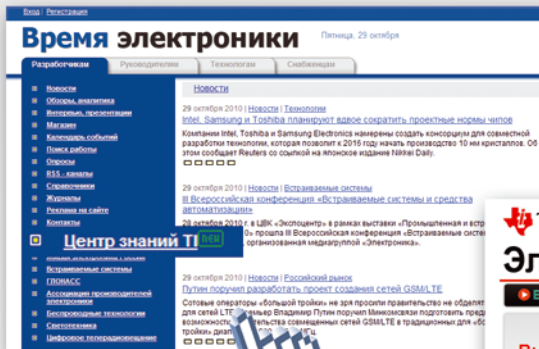


Рис. 8. Временные сигналы традиционного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR

Центр знаний TI на портале «Время электроники»



Центр знаний TI «Электропитание процессоров» предлагает инженерам-разработчикам доступ к исходным проектам, руководствам по выбору компонентов, статьям и каталогам, которые дадут вам ценную информацию по компонентам TI для управления питанием процессоров. Заходите регулярно – информация постоянно обновляется.

- ▶ Видео
- ▶ Исходные проекты (более 14)
- ▶ Полезные ссылки
- ▶ Форум

Информация обновлена

Электроснабжение процессоров

Вы разрабатываете. Мы помогаем. Центр знаний TI

Центр знаний TI «Электропитание процессоров» предлагает инженерам-разработчикам доступ к исходным проектам, руководствам по выбору компонентов, статьям и каталогам, которые дадут вам ценную информацию по компонентам TI для управления питанием процессоров. Заходите регулярно – информация постоянно обновляется.

▶ Купите здесь и сейчас!

Полезные ссылки

- ▶ Управление питанием
- ▶ Выбор питания для процессоров и ПЛИС
- ▶ Обзор литературы на русском языке
- ▶ Справочник типовых решений с применением светодиодов
- ▶ Инженерное сообщество Texas Instruments

Исходные проекты

Управление питанием для семейства микроконтроллеров TI Stellaris® ARM® Cortex™

Разработка цепей питания для Xilinx® Virtex-5 FPGAs

Решения по управлению питанием TI LMS5 Stellaris® ARM® Cortex™ M3/MCUs. Материал окажется полезным для инженеров применяющих процессоры в устройствах с выходными напряжениями 3,6-6В, а также в

Исходный проект, удовлетворяющий всем требованиям к питанию Xilinx® Virtex-5 FPGAs. Используются DC-DC-преобразователи и LDO-регуляторы с выходными напряжениями 3,3 и 5 В. Входное напряжение: 6 В.

Свяжитесь с нами через сайт: <http://www.russianelectronics.ru/ti-p4p>

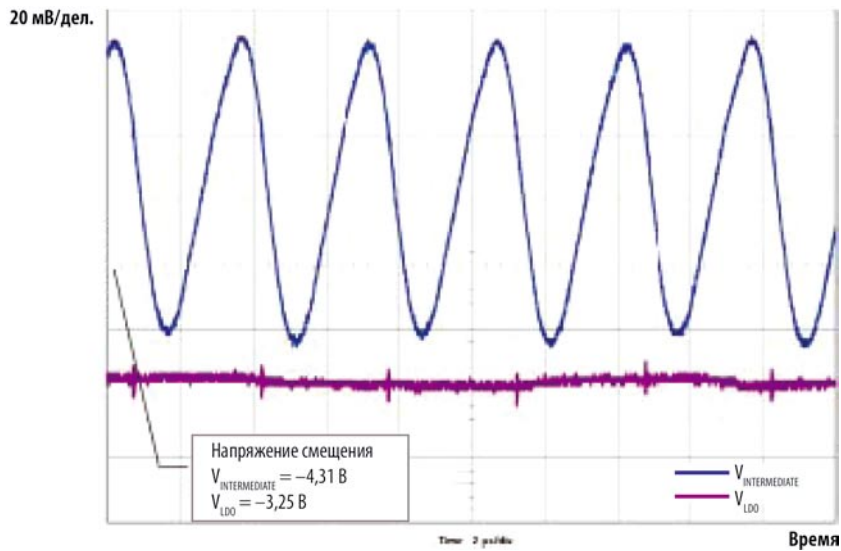


Рис. 9. Временные сигналы широкополосного LDO-регулятора с высоким уровнем PSRR

могут повлиять на выходной радиосигнал AM- и FM-диапазонов. Уменьшая пульсации источников питания, часто удается улучшить рабочие характеристики всей системы в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании LDO-регулятора в качестве вторичного

фильтра следует не только добиваться максимального значения PSRR, но также учитывать величину PSRR на частоте переключения источника питания. В приложениях, чувствительных к высокочастотным шумам, эффективнее использовать широкополосные LDO-регуляторы с высоким уровнем PSRR типа TPS7A8001,

а не традиционные LDO-регуляторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Pithadia & S. Lester. LDO PSRR Measurement Simplified. July 27, 2009. Texas Instruments.
2. J. Teel. Understanding power supply ripple rejection in linear regulators. August 5, 2005. Texas Instruments.