

Компоненты

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПОЛНЫЙ СПЕКТР ПРИМЕНЕНИЙ

3/2017

- Оптимизация рабочих характеристик GaN-транзисторов со встроенным драйвером стр. 11
- Руководство по инициализации подключения к Wi-Fi для устройств из мира Интернета вещей стр. 16
- Как eFuse может помочь обеспечить надёжную защиту тракта подачи электропитания в промышленных системах стр. 24
- Как измерить уровень шума LDO-регулятора стр. 26

Технология SmartConfig™

 TEXAS
INSTRUMENTS





БЮЛЛЕТЕНЬ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ

ПОЛНЫЙ
СПЕКТР
ПРИМЕНЕНИЙ

■ Главный редактор
Соловьёв Д.О.

■ Редакционная коллегия
Брызгалин А. О.
Белозор Л. В.

Совместный проект
ООО „Сканти“
и Texas Instruments, Inc.

■ Ответственность за содержание
рекламы несёт рекламодатель

■ Полное или частичное
воспроизведение материалов
допускается только
с разрешения ООО „Сканти“

■ Процессоры | Микроконтроллеры | Системы на кристалле

Йибо Ю (Yibo Yu), Крис Оберхаузер (Chris Oberhauser)

Руководство по проектированию индуктивной сенсорной системы для применения в кнопках человеко-машинного интерфейса (ЧМИ). Часть 1. (SNOA961) 1

■ Интерфейсы и стандартная логика

Новые устройства USB Type-C™ и Power Delivery 3.0 от Texas Instruments.

Улучшенные характеристики: передача питания и данных, качество сигнала и защита цепей 9

■ Датчики

Йонг Ксай (Yong Xie), Пол Брохлин (Paul Brohlin)

Оптимизация рабочих характеристик GaN-транзисторов со встроенным драйвером 11

■ Беспроводные коммуникации

Джил Рейтер (Gil Reiter)

Руководство по инициализации подключения к Wi-Fi® для устройств из мира «Интернета вещей» (SWRY011) 16

■ Управление питанием

Катерина Макаланда (Kathrina Macalanda)

Используйте современный предохранитель! 22

Абхишек Кумар (Abhishek Kumar)

Как eFuse может помочь обеспечить надёжную защиту тракта подачи электропитания в промышленных системах 24

Кайл Ван Рентерхем (Kyle Van Renterghem)

Как измерить уровень шума LDO-регулятора (SLYY076) 26

Техническое руководство по Li-SOCl₂ (литий-тионилхлоридным) источникам тока. Окончание 32



Пэт Хантер (Pat Hunter) и Энтони Фагнани (Anthony Fagnani)

Четыре совета по проектированию для получения частоты переключений 2 МГц 38

■ Реклама

Часовой кварцевый резонатор CM7V-T1A 32,768 кГц ±20 ppm 37



От редакции:

Все вопросы и пожелания можно адресовать на наш сайт www.scanti.com в разделе «Бюллетень «Компоненты Т1» или прислать по адресу bulletin@scanti.com

Йибо Ю (Yibo Yu), Крис Оберхаузер (Chris Oberhauser)

Руководство по проектированию индуктивной сенсорной системы для применения в кнопках человеко-машинного интерфейса (ЧМИ)

Часть 2. Начало в №2-2017 бюллетеня «Компоненты ТИ»

Проектирование сенсора

Общее описание

В индуктивной сенсорной системе используется сенсор, состоящий из индуктивности, включённой параллельно конденсатору, чтобы образовать LC-резонатор.

Этот резонатор создаёт магнитное поле, которое взаимодействует с соседними проводящими материалами. Создаваемое магнитное поле действует в ближней зоне, и поэтому первый принцип проектирования сенсора заключается в том, чтобы гарантировать попадание в это поле нужного проводящего материала, который мы называем рабочей поверхностью.

В документе по применению компонентов TI «[Проектирование сенсоров LDC](#)» подробно описывается конструкция сенсора. Многие кон-

цепции и рекомендации, содержащиеся в этом документе, применимы к проектированию сенсоров, которые подходят для индуктивных сенсорных систем.

Электрические параметры датчика

Основные электрические параметры индуктивных сенсоров:

- Резонансная частота сенсора $f_{\text{СЕНСОП}}$.
- Сопротивление сенсора (представляемое как R_p или R_s).
- Индуктивность сенсора L .
- Ёмкость сенсора C .
- Добротность сенсора Q .

Частота сенсора

Индуктивность и ёмкость определяют частоту сенсора согласно уравнению:

$$f_{\text{СЕНСОП}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

Вообще, когда магнитное поле сенсора взаимодействует с проводящей рабочей поверхностью, эффективная индуктивность сенсора меняется, вызывая изменение резонансной частоты сенсора.

R_p и R_s сенсора

R_p представляет собой параллельно включённое полное сопротивление колебательного контура на резонансной частоте, а R_s представляет собой последовательно включённое полное сопротивление на резонансной частоте. Эти сопротивления являются различными представлениями одних и тех же паразитных потерь.

Когда проводящие материалы приближаются к сенсору, интенсивность вихревых токов возрастает, что соот-

ветствует большим потерям в сенсоре. R_s сенсора имеет в своей основе модель последовательного электрического соединения, а R_p имеет в основе модель параллельного электрического соединения, как показано на рисунке 14. Важно помнить, что эти сопротивления являются сопротивлениями по переменному току, а не сопротивлениями по постоянному току.

Сопротивление R_p можно рассчитать по сопротивлению R_s с помощью следующего выражения:

$$R_p = \frac{L}{R_s \times C}. \quad (2)$$

R_p сенсора значительно уменьшается, когда проводящий материал приближается к поверхности сенсора, как показано на рисунке 15. Пример графика характеристик сенсора смотрите на рисунке 15, где R_p меняется в пределах от 2 до 8 кОм. Это изменение можно считать нормированной характеристикой, применимой к большинству сенсоров. Если сенсор диаметром 4 мм имел сопротивление в свободном пространстве (не будучи установленным в систему) R_p , равное 3 кОм, он должен был бы иметь R_p , равное ~2,2 кОм, при расстоянии до проводящего материала 0,5 мм.

Сопротивление R_p сенсора может уменьшиться до слишком низкого уровня, если рабочая поверхность приблизится слишком близко к сенсору, и такого состояния нельзя допускать, чтобы кнопка функционировала правильно. Подробнее смотрите в разделе «Ограничения при проектировании устройств LDC2112/LDC2114».

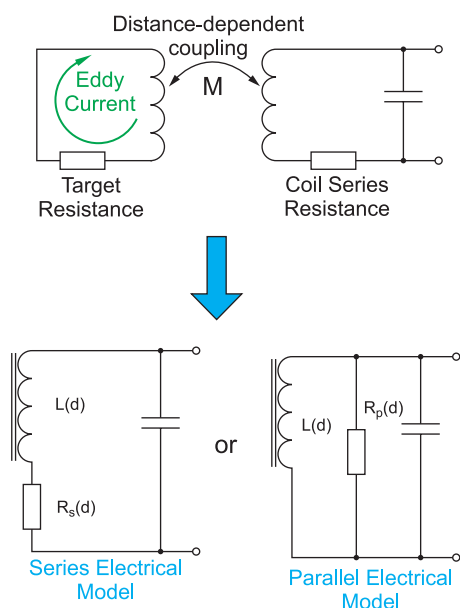


Рисунок 14. Модели сенсоров

Индуктивность сенсора

Индуктивность сенсора зависит от геометрии индуктивного элемента — площади индуктивного элемента, количества витков, а также от взаимодействия со всеми проводящими материалами. Вообще, чем больше индуктивность, тем легче возбуждать устройство. Дальность действия сенсорного индуктивного элемента зависит главным образом от физического размера индуктивного элемента, а не от значения индуктивности, при этом чем больше индуктивный элемент, тем больше дальность действия.

Ёмкость сенсора

Вообще, ёмкость сенсора выбирается после того, как спроектирован индуктивный элемент, и используется для настройки частоты сенсора. Следует избегать использования очень маленьких ёмкостей сенсоров, чтобы никакие паразитные изменения ёмкости не влияли на работу сенсора. Общая рекомендация заключается в том, что ёмкость сенсора не следует выбирать меньше 22 пФ.

Добротность сенсора

Добротность сенсора Q — это мера отношения индуктивности сенсора к его сопротивлению по постоянному току. Вообще, желательно иметь её значение как можно выше, потому что тогда сенсор требует меньше энергии для поддержания колебаний. Q сенсора можно рассчитать с помощью уравнения 3:

$$Q = \frac{1}{R_s} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (3)$$

R_s — это последовательное сопротивление сенсора по переменному току на рабочей частоте. Добротность Q сенсора можно увеличить либо увеличив индуктивность сенсора, либо уменьшив R_s сенсора, либо уменьшив его ёмкость.

Индуктивная сенсорная система

Технологию LDC можно использовать для обнаружения прогиба металла, как модель кнопки. Эта возможность даёт много преимуществ, например возможность работы с гладкими, отполированными металлическими по-

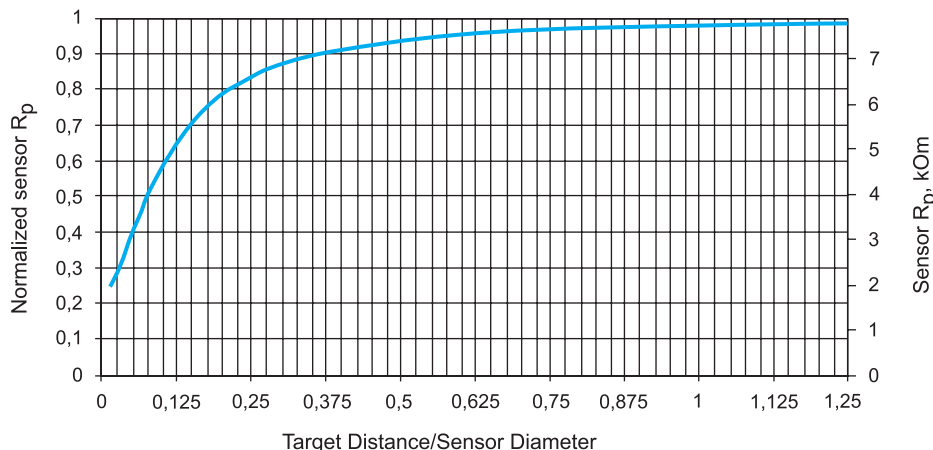


Рисунок 15. Пример зависимости R_p сенсора от расстояния до рабочей поверхности

верхностями кнопок, работа в условиях высокой влажности, стойкость к ложным срабатываниям при отсутствии касания кнопки, а также надёжная работа, даже если пользователь работает в перчатках. Такая система рассматривается в документе по применению компонентов TI «Руководство по проектированию индуктивных сенсорных кнопок с металлической рабочей поверхностью».

Ограничения при проектировании устройств LDC2112/LDC2114

LDC2112/LDC2114 — это преобразователь индуктивности в цифровой сигнал с высоким разрешением, внутренние алгоритмы которого способны обнаруживать изменения индук-

тивности, соответствующие нажатиям кнопок с металлическими или другими рабочими поверхностями. Он требует, чтобы подключённые сенсоры имели следующие параметры:

- $1 \text{ МГц} \leq f_{\text{СЕНСОР}} \leq 30 \text{ МГц}$;
- $350 \text{ Ом} \leq R_p \leq 10 \text{ кОм}$;
- $5 \leq Q \leq 30$.

Если параметры сенсора не укладываются в указанные пределы, устройство LDC2112/LDC2114 может оказаться не в состоянии измерять изменения индуктивности и в результате не будет обнаруживать касания индуктивной сенсорной системы. Эти ограничения можно представить наглядно так, как показано на рисунке 16, который получен на основе вы-

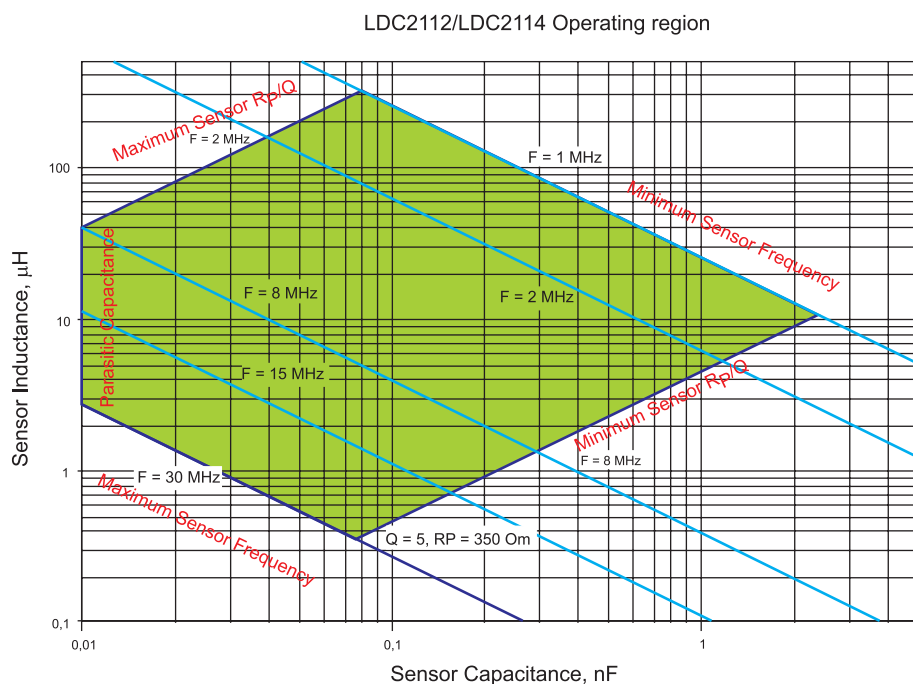


Рисунок 16. Рабочая зона LDC2112/LDC2114

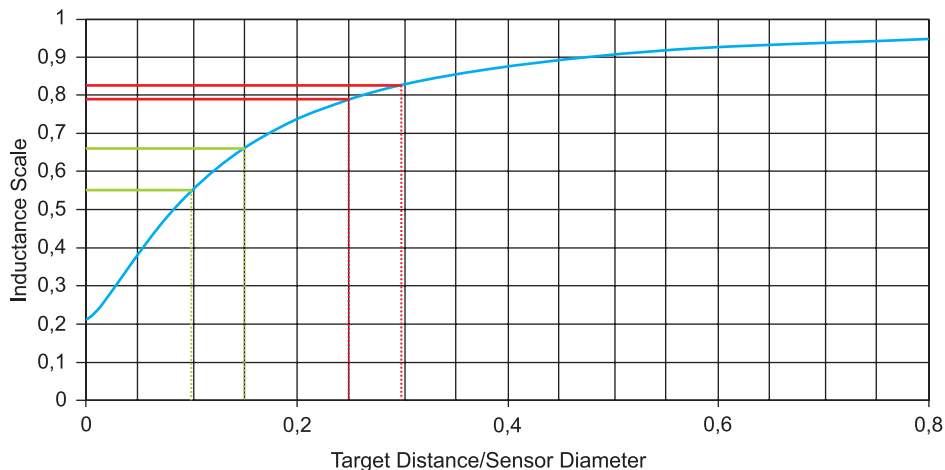


Рисунок 17. Зависимость изменения индуктивности от расстояния до рабочей поверхности

Граница минимальной частоты сенсора справа сверху соответствует выражению:

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 1\text{MHz})^2 C}, \quad (4)$$

а левая нижняя граница соответствует максимальной частоте сенсора:

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 30\text{MHz})^2 C}. \quad (5)$$

Если ёмкость сенсора слишком мала, влияние паразитной ёмкости может

ухудшить работу сенсора, что определяет левую границу; хотя эта граница показана при ёмкости 10 пФ, некоторые системы могут испытывать проблемы и при больших ёмкостях сенсора. Вообще рекомендуется использовать ёмкость сенсора больше 22 пФ.

Физическая конструкция сенсора

Физический размер сенсора

Работа индуктивной сенсорной системы имеет в основе магнитное поле сенсора, взаимодействующее

с металлической поверхностью. Поэтому магнитное поле должно достигать поверхности металла. «Размер» магнитного поля определяется размером индуктивного элемента — чем больше индуктивный элемент, тем больше генерируемое магнитное поле.

В случае круглого индуктивного элемента размером индуктивного элемента считается диаметр. В случае некруглого индуктивного элемента эффективным диаметром сенсора считается минимальный размер по одной из осей (рисунок 18).

Положение конденсатора сенсора

Рекомендуется располагать конденсатор сенсора рядом с контактом INn, но не рядом с сенсором. Такое размещение позволяет избежать влияния линии передачи в высокочастотных сенсорах.

Экранирование печатных проводников INn

Для надёжной работы индуктивных сенсорных систем печатные проводники INn не должны иметь значительных изменений ёмкости в зависимости от времени. Изменения паразитной ёмкости могут вызывать ложные нажатия кнопок, если печатные проводники INn не экранированы. Рекомендуется окружить печатные проводники INn экраном, соединённым с контактом COM, как показано на рисунке 19.

Ёмкость экранирования

LC-резонатор может реагировать как на изменения индуктивности, так и на изменения ёмкости. Чтобы не допустить никакого влияния ёмкости, вызывающего нежелательные ответные сигналы, металлическая рабочая поверхность должна иметь фиксированный постоянный потенциал. Поэтому при конструировании системы сенсора и рабочей поверхности проводящая рабочая поверхность должна быть заземлена по переменному току, чтобы экранировать все внешние ёмкости.

Выбор номинала C_{COM}

Контакт COM может замыкать на грузку до 20 нФ на землю. Номинал C_{COM} должен быть выбран таким образом, чтобы нижеуказанное со-

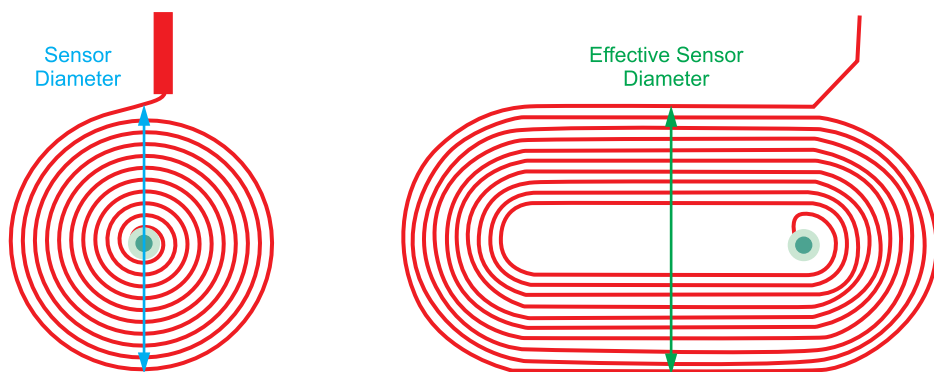


Рисунок 18. Диаметр сенсора при круглом индуктивном элементе и индуктивном элементе в форме беговых дорожек стадиона

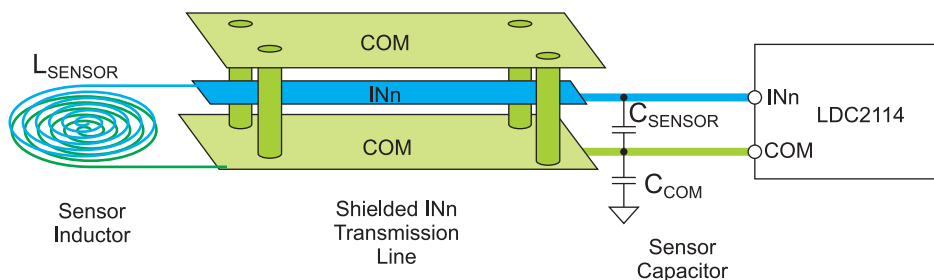


Рисунок 19. Экранирование проводников INn с подключением к контакту COM

отношение выполнялось во всех каналах:

$$10 \times C_{\text{СЕНСОР}} / Q_{\text{СЕНСОР}} < C_{\text{СОМ}} < 1250 \times C_{\text{СЕНСОР}} / Q_{\text{СЕНСОР}} \quad (6)$$

Это требование должно быть выполнено, даже если номинал $C_{\text{СЕНСОР}}$ не одинаковый во всех каналах.

Многослойная конструкция

Индуктивность сенсора зависит от площади, количества витков индуктивного элемента и его удаления от рабочей поверхности. Во многих индуктивных сенсорных системах желательный физический размер кнопок может быть 3 мм в диаметре или менее. Низкая общая индуктивность меньшего сенсора может привести к тому, что частота сенсора окажется вне расчётного диапазона LDC2112/LDC2114. При использовании нескольких слоёв сенсоров с чередующимся направлением закручивания витков общая индуктивность, из-за дополнительной взаимной индуктивности между слоями, будет значительно выше по сравнению с однослойной конструкцией.

В большинстве систем достаточно конструкций с 2 слоями или с 4 слоями. Хотя 4-слойный сенсор сложнее и дороже 2-слойного сенсора аналогичной геометрии, LDC2114 может эффективно работать с 4-слойным сенсором, имеющим меньшие физические размеры, как показано в таблице 1.

Однослойный сенсор обычно не так эффективен, поскольку взаимная связь между слоями в многослойном сенсоре обеспечивает значительное увеличение индуктивности сенсора. Кроме того, потребуется второй проводник, чтобы отвести ток от центра сенсора обратно в LDC.

Минимальная ширина сенсора, имеющего фиксированную длину 8 мм, при расстоянии до рабочей поверхности 0,2 мм. Оценка рабочих характеристик этих сенсоров не проводилась. Эти сенсоры предполагают, что толщина диэлектрика между слоями составляет 1 мил (25 мкм).

Паразитная ёмкость сенсора

Отдельные витки индуктивного элемента имеют физическую площадь и разделены диэлектриком, что проявляется в виде небольшого пара-

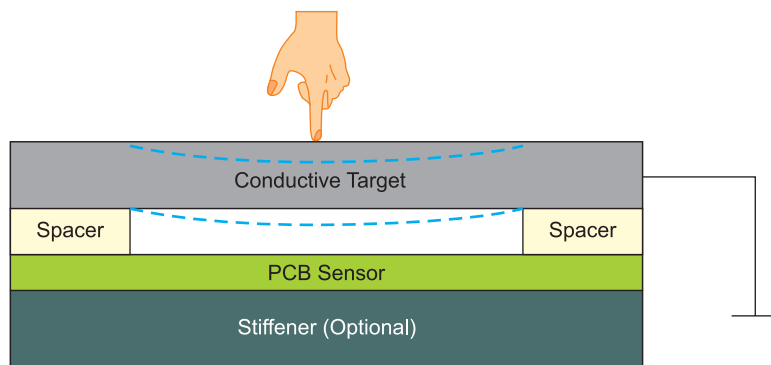


Рисунок 20. Заземлённая по переменному току рабочая поверхность для экранирования влияния ёмкостей

Таблица 1. Приблизительная минимальная ширина сенсора в зависимости от ограничений, связанных с изготовлением

Возможное расстояние между витками	Количество слоёв	Минимальный размер межслойного соединения	Минимальная ширина сенсора, мм
4 мил (0,1016 мм)	2	15 мил (0,4 мм)	2,85
4 мил (0,1016 мм)	4	15 мил (0,4 мм)	2,30
3 мил (0,076 мм)	2	15 мил (0,4 мм)	2,05
3 мил (0,076 мм)	4	15 мил (0,4 мм)	1,91
2 мил (0,051 мм)	2	15 мил (0,4 мм)	1,65
2 мил (0,051 мм)	4	15 мил (0,4 мм)	1,53
2 мил (0,051 мм)	4	12 мил (0,305 мм)	1,38

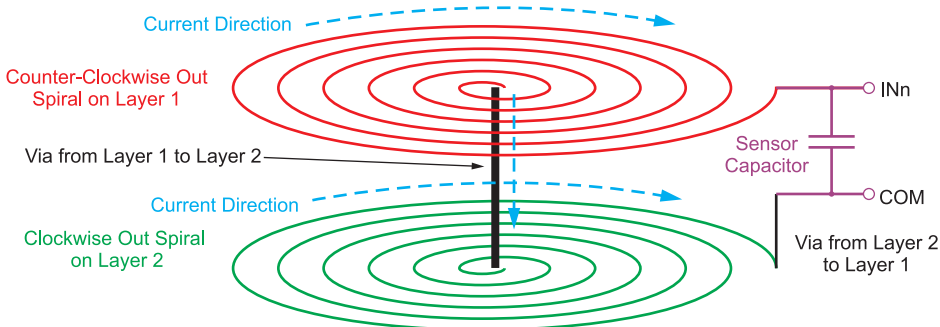


Рисунок 21. Конструкция двухслойного сенсора

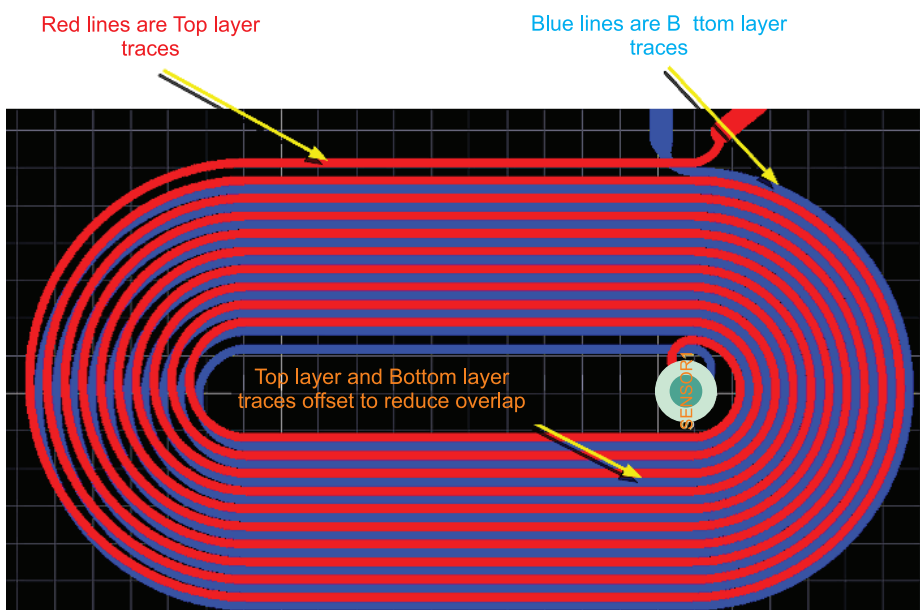


Рисунок 22. Смещение печатных проводников для снижения паразитной ёмкости

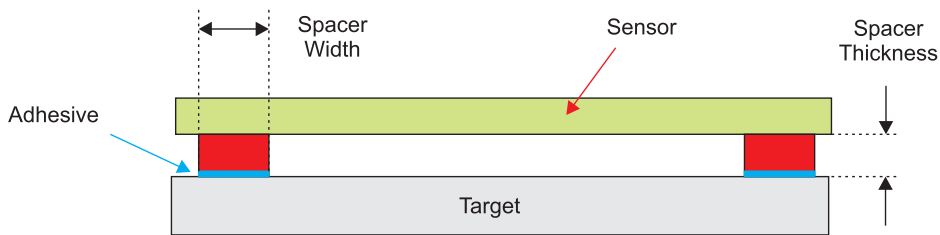


Рисунок 23. Ширина и толщина сенсора

зитного конденсатора, подключённого параллельно каждому витку. Эти паразитные ёмкости следует свести к минимуму, чтобы сенсор работал оптимально. Одним простым, но эффективным способом снижения паразитной ёмкости многослойного сенсора является смещение параллельных печатных проводников разных слоёв, как показано на рисунке 22.

Разделители сенсоров

Обеспечение стабильного расстояния (зазора) между сенсором и рабочей поверхностью имеет важное значение для эффективной работы сенсорной системы. Это обеспечивается элементом конструкции системы, который называется разделителем.

Обычно толщина разделителя находится в диапазоне от 0,1 до 0,5 мм, в зависимости от геометрии сенсора и его электрических параметров. Вообще, чем тоньше разделитель, тем лучше работает система, при условии, что электрические характеристики сенсора находятся в пределах ограничений устройств LDC2112/LDC2114. Обычно оптимальная работа обеспечивается выбором толщины разделителя менее 10% от диаметра индуктивного элемента (в случае прямоугольного или эллиптического сенсора – 10% от длины короткой стороны).

При креплении сенсора к рабочей поверхности путем приклеивания могут потребоваться более широкие разделители, чтобы обеспечить

более прочное крепление к рабочей поверхности.

Элемент жёсткости сенсора

Если сенсор выполнен на гибкой печатной плате, ему требуется опора в виде элемента жёсткости. Если гибкий сенсор не имеет опоры, он может деформироваться при любом движении, что будет приводить к ложным срабатываниям. Опора должна иметь ровную поверхность, которая минимально искривляется под воздействием температуры, влажности и нагрузок. Опорная конструкция, которую часто называют элементом жёсткости для систем, где применяются LDC, не должна быть проводящей, в противном случае Q и R_p сенсора могут оказаться ниже минимальных уровней, которые могут поддерживать устройства LDC2112/LDC2114. Использование FR4 в качестве подложки широко применяется для гибких печатных плат и подходит для LDC-сенсоров. При сенсорах меньшей толщины допускается применение элемента жёсткости на основе эпоксидной смолы.

Элемент жёсткости должен быть выполнен из непроводящего материала, в противном случае R_p сенсора может оказаться слишком низким для работы с устройствами LDC2112/LDC2114, и по этой причине не следует использовать элементы жёсткости из нержавеющей стали и алюминия.

Если несколько сенсоров выполнены на одной гибкой печатной плате, элемент жёсткости должен быть отдельным для каждой секции сенсоров, иначе механическое взаимное влияние сенсоров друг на друга может быть значительно больше.

В некоторых системах элемент жёсткости может быть компонентом, который уже есть в системе – например, стеклянная поверхность, или если сенсоры выполнены из жёсткого материала, такого как FR4.

Обычно печатные платы из FR4 или других жёстких материалов не требуют специального элемента жёсткости.

Индуктивный элемент в форме беговых дорожек

В некоторых индуктивных сенсорных системах, где требуются очень

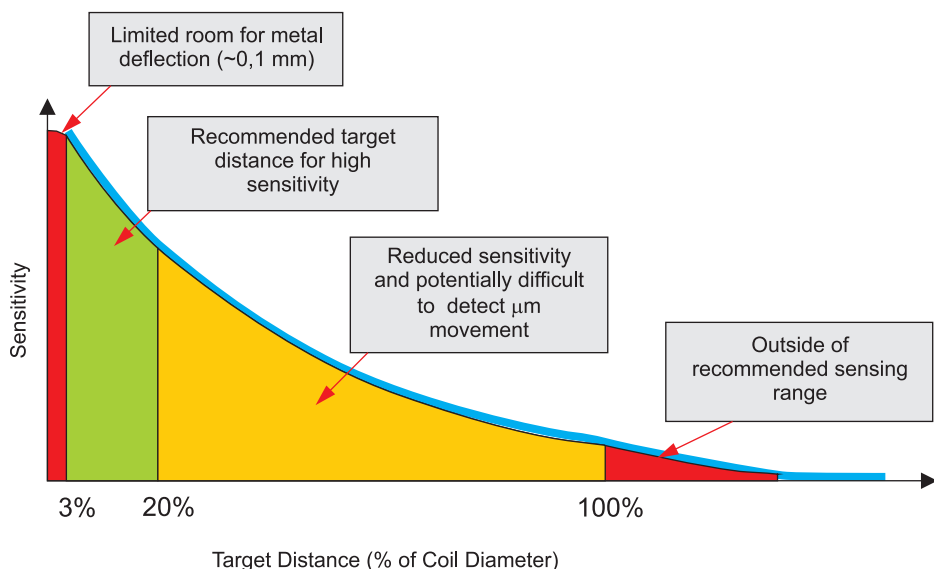


Рисунок 24. Зависимость чувствительности от расстояния до рабочей поверхности

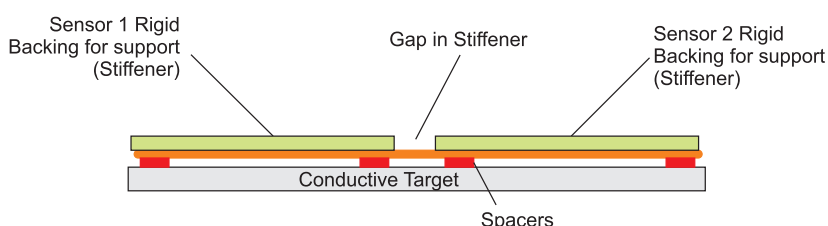


Рисунок 25. Отдельные элементы жёсткости для каждого сенсора

маленькие сенсоры, индуктивность круглого или квадратного сенсора оказывается слишком низкой. Элемент удлинённой формы, например прямоугольной или напоминающей беговые дорожки стадиона, как показано на рисунке 26, будет иметь больший номинал индуктивности. Такая форма эффективна для кнопок на боковой стороне мобильных телефонов.

Пример сенсора

Ниже представлен пример конструкции сдвоенного сенсора. Сенсоры имеют размер 2,85×8 мм, 8 витков, как показано на рисунке 26. Печатные проводники выполнены из меди толщиной 9 мкм (0,25 унции), имеют ширину 75 мкм и расстояние между проводниками 50 мкм. Индуктивность сенсора в свободном пространстве – приблизительно 1,3 мкГн, и он имеет ёмкость 47 пФ. Индуктивность смонтированного сенсора ниже ввиду взаимодействия с проводящей рабочей поверхностью.

Оценка параметров этого сенсора была проведена с помощью вкладки «Racetrack Inductor Designer» (расчёт индуктивных элементов в форме беговых дорожек) программы расчёта устройств LDC «LDC Calculations Tool». На рисунке 27 приведён пример исходных данных, введённых в этот программный инструмент расчёта, чтобы рассчитать описываемый здесь сенсор. Заметим, что данный инструмент обеспечивает получение оценок таких параметров, как R_s , R_p , Q , L и частота, на основании выражений 1–3.

Результатом расчёта программы являются оценки параметров в свободном пространстве (без рабочей поверхности) и их значения, когда сенсор смонтирован в системе с рабочей поверхностью вблизи него. Как видно из таблицы 2, если сенсор смонтирован, его параметры находятся в пределах рабочей зоны устройств LDC2112/LDC2114.

Проводники, проложенные между сенсором и разъёмом, экранированы верхним и нижним слоями, которые соединены с контактом сигнала COM. Для соединения верхнего и нижнего экранов используются регулярно разнесённые межслойные соединения.

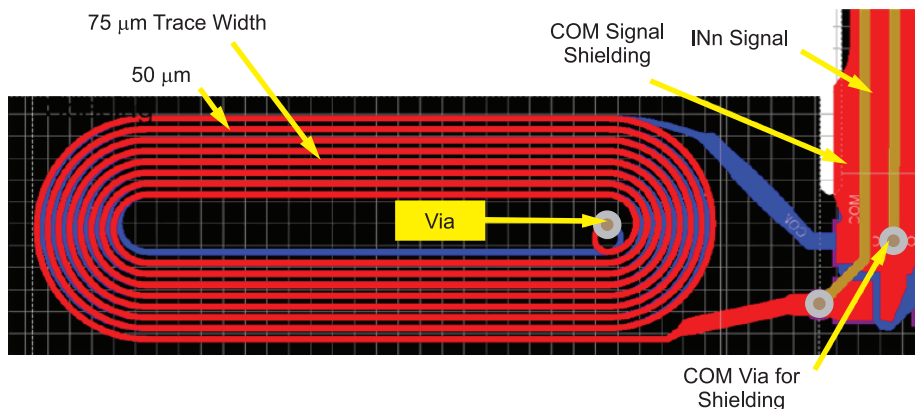
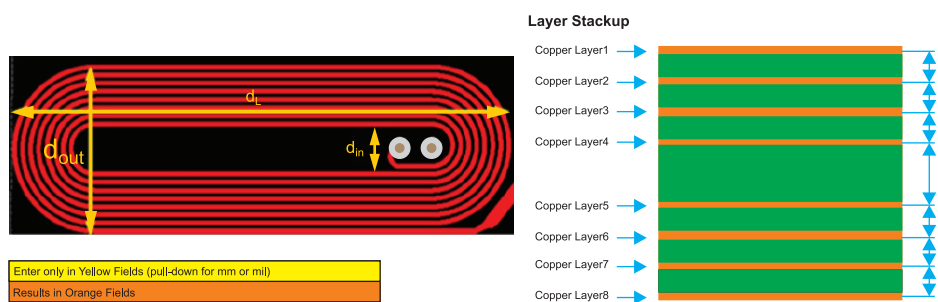


Рисунок 26. Трассировка сенсора с формой индуктивного элемента в виде беговых дорожек



Расчёт LC-сенсора				
Рабочая температура	T	25	°C	Введите рабочую температуру
Ёмкость сенсора	C	47,0	пФ*	Выберите ёмкость LC-контура
Слои	M	2	Слои	Количество слоёв на печатной плате (1≤M≤8)
Витки	N	8	Витки	Количество витков в одном слое
Наружный диаметр индуктивного элемента (по короткой стороне)	dout	2,85	мм	Наружный диаметр спирального индуктивного элемента
отношение длинной стороны к короткой стороне (≥1)		2,80		если это значение >1, индуктивный элемент имеет форму беговых дорожек
Длинная сторона индуктивного элемента	d	7,980	мм	
расстояние между печатными проводниками	S	2,000	мил	Расстояние между печатными проводниками (мм или мил)
ширина печатного проводника	W	3,000	мил	Ширина печатного проводника (мм или мил)
Толщина печатной платы между 1-м слоем и 2-м слоем	h12	1,000	мил	Расстояние между 1-м слоем и 2-м слоем (мм или мил)
Толщина меди	t	0,250	унции-Cu	Толщина слоя меди (мм, унции-Cu или мил)
Коэффициент заполнения индуктивного элемента	dвнутр/ d наруж.	0,28		рекомендуется 0,2 > 0,8
Внутренний диаметр индуктивного элемента	d внутр.	31,205	мил	Внутренний диаметр спирального индуктивного элемента (мм или мил)
Самоиндукция на один слой	L	0,370	мкГн	
Общая индуктивность	ЛОБЩ.	1,316	мкГн	
Рабочая частота сенсора	Фрез	19,426	МГц	
Оценка импеданса на резонансной частоте	Rp	7297,3	Ом	
Добротность Q	Q	41,86		
Расстояние до рабочей поверхности	D	0,10	мм	
Индуктивность сенсора с учётом взаимодействия с рабочей поверхностью	L'	0,756	мкГн	
Частота сенсора с учётом взаимодействия с рабочей поверхностью	Фрез'	26,692	МГц	
Rp с учётом взаимодействия с рабочей поверхностью	Rp'	1,40	кОм	Для алюминиевой рабочей поверхности толщиной не менее, чем в 5 раз больше глубины скин-эффекта
Добротность Q с учётом рабочей поверхности	Q'	11,0		

Рисунок 27. Вкладка расчёта индуктивных элементов в форме беговых дорожек программы расчёта устройств LDC

Таблица 2. Параметры сенсора

Параметры сенсора	Сенсор в свободном пространстве	Сенсор, смонтированный в системе	Рабочая зона LDC2112/LDC2114
Индуктивность сенсора, мкГн	1,3	0,76	
Ёмкость сенсора, пФ	47	47	
Частота сенсора, МГц	19,4	26,7	1–30
Rp сенсора	7,3 кОм	1,4 кОм	350 Ом ≤ Rp ≤ 10 кОм
Q сенсора	41	11	5 ≤ Q ≤ 30

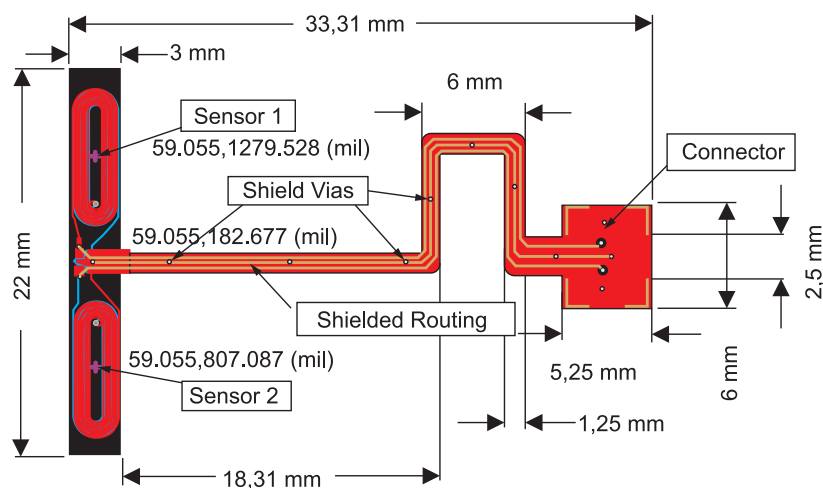


Рисунок 28. Пример конструкции сдвоенного сенсора

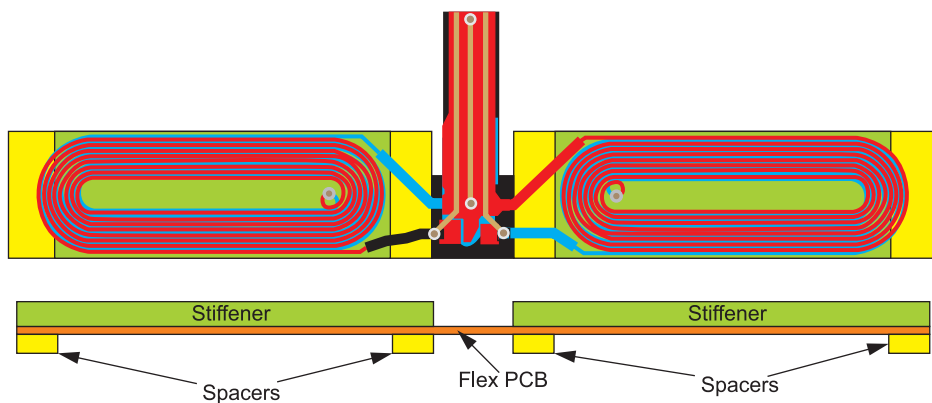


Рисунок 29. Конструкция зоны сенсора

Таблица 3. Конфигурация слоёв сенсора

Слой	Тип	Материал	Толщина, мил	Толщина, мм	Материал диэлектрика
Элемент жёсткости	Диэлектрик	Сердцевина печатной платы	32	0,813	FR4
Верхнее покрытие	Покрытие				
Верхнее покрытие гибкого слоя	Паяльная маска/покрытие	Материал поверхности	0,4	0,010	Покрытие
Верхний слой	Проводник сигналов	Медь	0,46	0,012	
Гибкий слой 1	Диэлектрик	Плётка	0,47	0,012	Полиимид
Слой проводников сигналов	Проводник сигналов	Медь	0,46	0,012	
Гибкий слой 2	Диэлектрик	Плётка	1	0,025	Полиимид
Нижний слой	Проводник сигналов	Медь	0,46	0,012	
Нижнее покрытие гибкого слоя	Паяльная маска/покрытие	Материал поверхности	0,4	0,010	Покрытие (полиимид)
Нижний припой 1	Паяльная маска/покрытие	Материал поверхности	0,4	0,010	Паяльный резист
Нижнее покрытие	Покрытие				
Разделитель	Диэлектрик	Плётка	5	0,127	Полиимид
Общая толщина			41,05	1,043	

Изгиб трассировки экранированных линий используется для снятия механических напряжений.

В этом примере элементы жёсткости и разделители интегрированы в сенсор. Конструкция разделителей и элементов жёсткости показана на рисунке 29.

Каждая зона сенсора имеет свой элемент жёсткости и два разделителя. Гибкая зона между двумя сенсорами обеспечивает механическую изоляцию между двумя сенсорами.

В таблице 3 отражена конфигурация слоёв сенсора. Толщина элемента жёсткости может меняться в зависимости от механических параметров. Вообще, выполнение разделителей при изготовлении сенсора обычно обеспечивает более жёсткий допуск на толщину разделителя, чем выполнение разделителей путём механообработки в корпусе.

Разделитель и элемент жёсткости имеются не во всей конструкции сенсора, как показано на рисунке 30. Разделитель нужен только на концах областей расположения кнопок. Элемент жёсткости нужен над сенсором и разъёмами, там, где они есть. Элемент жёсткости может быть выполнен из более тонкого материала, если это требуется для конкретной системы.

Заключение

В этом руководстве по проектированию мы рассмотрели механические аспекты проектирования индуктивных сенсорных кнопок, в которых используются технологии индуктивных сенсорных элементов для достижения оптимальной чувствительности и надёжности, включая компоновку слоёв конструкции, и базовый порядок расчёта электрических параметров. Процесс расчёта сенсора, который можно использовать в индуктивных сенсорных системах на основе устройств LDC2112/LDC2114, можно описать следующим образом:

1. Определение размера физического пространства, доступного для сенсора.
2. Использование инструментов проектирования для расчёта сенсора, который укладывается

в диапазон рабочих параметров LDC2112/LDC2114.

- Использование экранированной конструкции для трассировки проводников INn.
- Выполнение всех разделителей или элементов жёсткости, которые требуются.

Архитектура с низким энергопотреблением устройств LDC2112/LDC2114 позволяет использовать их для работы с сенсорами кнопок. В конструкции корпуса не требуется никаких вырезов в местах расположения кнопок. Это может способствовать снижению стоимости изготовления и повышению стойкости корпуса к влаге, пыли и грязи. Это большое преимущество по сравнению с традиционными механическими кнопками, имеющимися на рынке в настоящее время.

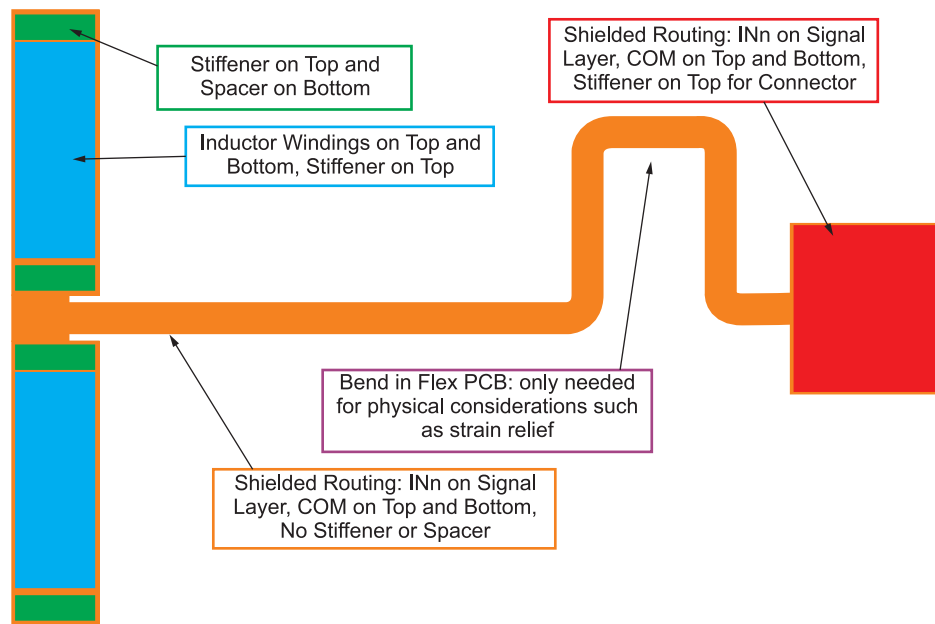
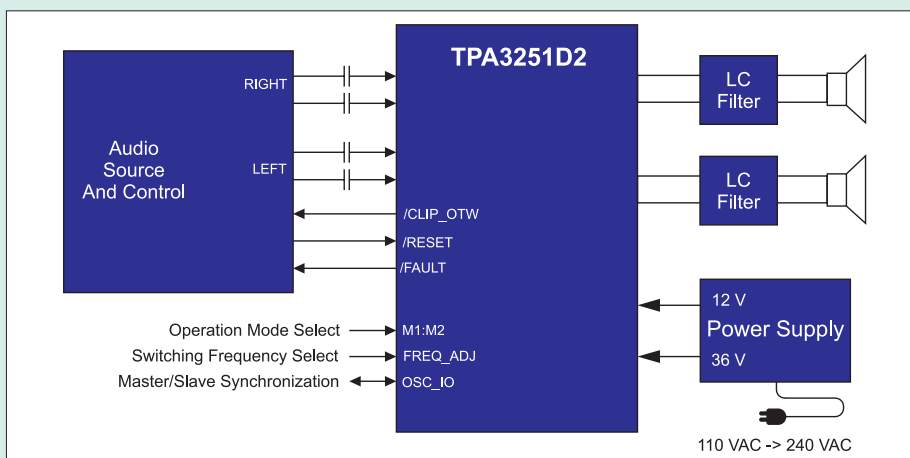


Рисунок 30. Компоновка слоёв сенсора в различных зонах

TPA3251D2 – стереоусилитель класса D с выходной мощностью до 350 Вт



мой управления затворами. Данные технологии позволили разместить усилитель мощностью 350 Вт в корпусе HTSSOP размером 6×14 мм.

Основные характеристики:

- Дифференциальные аналоговые входы.
- Выходная мощность до 2×140 Вт на нагрузке 4 Ом при 1%-ных искажениях и 2×175 Вт при 10%.
- Полоса частот до 100 кГц, что позволяет воспроизводить звук с HD-источников.
- Ультранизкий уровень искажений: <0,01% (с учетом шумов).
- Уровень шумов на выходе, не более: 60 мкВ.
- Напряжение питания от 12 до 36 В.
- КПД 90%.
- Все виды защиты.

Микросхема TPA3251D2 предназначена для применения в высококачественной аппаратуре звуковоспроизведения. Для приложений, требующих меньшей выходной мощности, подойдет микросхема TPA3250D2, аналогичная по параметрам и совместимая по разводке выводов с микросхемой TPA3251D2.

www.ti.com/product/TPA3251D2

Микросхема TPA3251D2 – это высококачественный усилитель мощности класса D, обеспечивающий качество звука премиум-класса при высокой энергоэффективности, свойственной цифровым усилителям. Наличие внутренней обратной связи в сочетании с патентованной технологией PurePath™ UltraHD обеспечивает очень малый уровень искажений сигнала во всем диапазоне мощностей и, соответственно, превосходное качество звука.

Микросхема может работать как в стерео-, так и в монорежиме, обе-

спечивая мощность до 2×175 Вт на нагрузке 4 Ом и 2×220 Вт на нагрузке 3 Ом. Наличие аналогового входного интерфейса позволяет микросхеме TPA3251D2 работать совместно с высококачественными ЦАП и кодеками, такими как, например, PCM5242.

В дополнение к превосходным характеристикам звука TPA3251D2 обладает также прекрасным КПД – потери в силовых каскадах в режиме «Idle» не превышают 1 Вт, что достигается использованием МОП-транзисторов с сопротивлением канала 60 мОм и оптимизированной схе-

Новые устройства USB Type-C™ и Power Delivery 3.0 от Texas Instruments. Улучшенные характеристики: передача питания и данных, качество сигнала и защита цепей

Оптимизация производительности системы при помощи первого в отрасли устройства защиты порта от перенапряжения USB Type-C и единственный редрайвер, поддерживающий передачу данных и видео 10G USB.



В качестве расширения самого всеобъемлющего в отрасли портфеля USB-совместимых интегральных схем (ИС) Texas Instruments представила пять новых USB Type-C и Power Delivery (PD) устройств, которые позволяют инженерам разрабатывать электронное оборудование USB Type-C с улучшенным качеством сигнала и защитой от повреждения системы.

Семейство линейных редрайверов TUSB1046 первым в отрасли поддерживает передачу данных 10G USB и видео DisplayPort™ 1.4, создавая возможность ускоренной передачи без ухудшения качества сигнала. Для предотвращения серьезного отказа в условиях эксплуатации в состав семейства TPD8S300 входит первое в отрасли одночиповое решение для защиты систем USB Type-C и PD от повреждения, обусловленного перенапряжением. Дополнительно

контроллер TPS65983B USB PD 3.0 позволяет выполнить проектирование всей системы и обеспечить более надежную передачу питания и данных при помощи интегрированного силового тракта, аппаратных средств быстрого обмена ролями, поддержки аутентификации и стандартизованных напряжений.

Ускоренная передача данных и видео

Новые редрайверы TUSB1046 и TUSB1002 поддерживают вдвое большую полосу пропускания данных, чем современные решения 5G USB, создавая возможность передачи данных и видео 10G с разрешением до 8K, потребляя при этом только 335 мВт активной мощности при скоростях 10G USB. Редрайверы компенсируют потери в каналах до 14,4 дБ при передаче на расстояние и по длинным кабелям.

Дополнительно 16 уровней эквализации оптимизируют производительность, компенсируя дрожание межсимвольных помех и затухание сигнала, создавая возможность лучшего взаимодействия и поддержания связи с другими устройствами. Семейство линейных редрайверов 10G от TI поконтактно совместимо с ее же семейством устройств 5G USB, позволяя беспрепятственно переходить на более высокие скорости в существующих конфигурациях.

Защита портов от перенапряжения

Занимая на плате меньше места, чем дискретная реализация (экономия до 75%), устройства TPD8S300 и TPD6S300 обеспечивают защиту от повреждения вследствие перенапряжения, вызываемого замыканием постоянного тока на напряжение шины 20 В (Vbus) в конфигурацион-

ном канале (CC) и на контактах использования боковой полосы частот (SBU), сохраняя при этом целостность сигнала. Устройства защиты портов объединяют диоды подавления напряжений переходных процессов (TVS) с выполнением фиксации нижнего уровня, чтобы обеспечить защиту от электростатического разряда (ЭСР) согласно стандарту Международной электротехнической комиссии (МЭК) 61000-4-2 и защитить находящийся ниже по потоку контроллер PD.

Полностью управляемый силовой тракт

Одночиповое устройство TPS65983B – это единственный контроллер USB PD 3.0, который полностью интегрирует силовой тракт, одновременно обеспечивая защиту от превышения по току, перенапряжения, обратного тока и тепловую защиту. Этот контроллер имеет функцию быстрого обмена ролями для стоковых или истоковых реализаций для обе-

спечения проектировщикам максимальной гибкости.

Обеспечение совместимости с последними стандартами USB

Эти устройства совместимы с новыми стандартами USB Type-C, USB 3.1 Gen 2 и PD 3.0, что повышает их надёжность по сравнению с предыдущими спецификациями и создаёт возможность тонкой конструкции, надёжной подачи питания и использования универсальных разъёмов и кабелей. Кроме того, эти устройства питания, сигнальных цепочек и защиты цепей позволяют системам USB Type-C и PD беспрепятственно функционировать вместе, обеспечивая разработчикам душевный покой.

Корпус, наличие и цены

Новые устройства USB Type-C и PD от Texas Instruments имеются в наличии в корпусах и по ценам, указанным в таблице ниже. Устройства TUSB1002, TUSB1046 и TPS65983B можно приобрести в производственных количествах на сайте TI и у авторизованных дистрибьюторов. Доступны опытные образцы устройств защиты TPD8S300 и TPD6S300. Дополнительно в помощь инженерам имеются оценочные модули (EVM), позволяющие быстро и легко оценить рабочие характеристики и сократить время от начала разработки до выпуска на рынок.

www.ti.com/usbspecpd2016-pr-eu

Изделие	Корпус	Расценки для партий из 1000 шт.	EVM
TUSB1002	24VQFN	Начиная с \$2,79	TUSB1002EVM
TUSB1046	40WQFN	Начиная с \$3,69	TUSB1046EVM
TPS65983B	96BGA	Начиная с \$4,59	TPS65983EVM
TPD8S300	20WQFN	Начиная с \$0,99	TPD8S300EVM
TPD6S300	20WQFN	Начиная с \$0,95	TPD6S300EVM

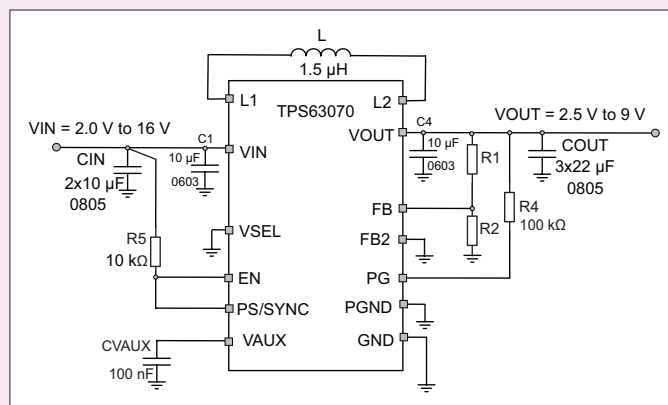
Миниатюрный Buck-Boost преобразователь напряжения TPS63070 с интегрированным ключом на ток 3,6 А

Микросхема TPS63070 представляет собой синхронный DC/DC-конвертер, способный как понижать, так и повышать входное напряжение. Ток нагрузки в обоих случаях может составлять не менее 2 А. Конвертер построен на основе ШИМ-модулятора с постоянной рабочей частотой, использование синхронного выпрямления позволяет достичь высокого КПД.

Основные характеристики:

- Входное напряжение от 2 до 16 В.
- Выходное напряжение от 2,5 до 9 В.
- КПД до 95%.
- Ток нагрузки до 2А.
- Автоматическое переключение режимов Buck и Boost.
- Рабочая частота 2,4 МГц с возможностью внешней синхронизации.
- Типовой ток собственного потребления 50 мкА.
- Режим Shutdown с отключением нагрузки.
- Выход Power Good.

Схема использования микросхемы TPS63070 достаточно проста и требует всего нескольких внешних компонентов:



Микросхема TPS63070 – с регулируемым выходом. Микросхема TPS630701 – с предустановленным выходным напряжением 5 В. Микросхемы выпускаются в корпусе QFN-15 размерами 2,5×3 мм. Предназначены для работы в приборах с батарейным питанием, ноутбуках, промышленных тестерах и мультиметрах, персональной медицинской аппаратуре, мобильных интернет-приборах.

www.ti.com

Йонг Ксай (Yong Xie), Пол Брохлин (Paul Brohlin)

Оптимизация рабочих характеристик GaN-транзисторов со встроенным драйвером

Объединение полевых GaN-транзисторов с их драйверами упрощает конструкции силовых каскадов на основе GaN-транзисторов.

Транзисторы на основе нитрида галлия (GaN) могут переключаться намного быстрее, чем кремниевые полевые МОП-транзисторы, и таким образом способны обеспечить меньшие потери на коммутацию. Однако при высоких скоростях нарастания сигнала определенные типы корпусов могут ограничивать коммутационные характеристики полевых GaN-транзисторов. Объединение GaN-транзистора с драйвером в одном корпусе уменьшает паразитные индуктивности и оптимизирует коммутационные характеристики. Объединение с драйвером также позволяет реализовать защитные функции.

Введение

С точки зрения коммутационных характеристик транзисторы на основе нитрида галлия (GaN) обладают преимуществами перед кремниевыми МОП-транзисторами благодаря меньшей ёмкости выводов при таком же сопротивлении открытого канала и отсутствию паразитного диода с его

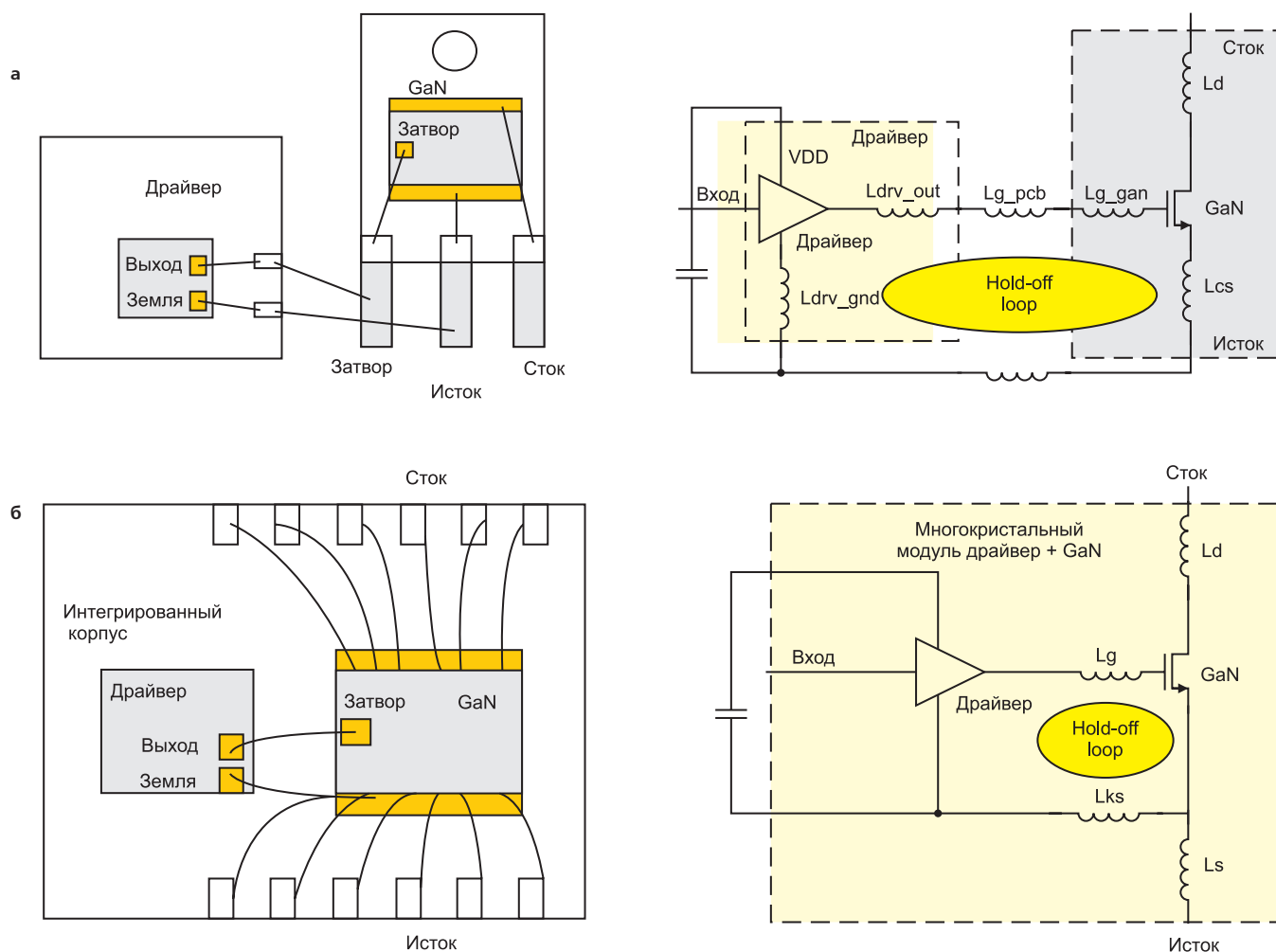


Рисунок 1. а) GaN-транзистор с драйвером в отдельном корпусе; б) в интегрированном корпусе GaN-драйвер

потерями на восстановление при переключении. Благодаря этим особенностям полевые GaN-транзисторы могут осуществлять коммутацию с более высокими частотами, повышая плотность мощности и улучшая рабочие характеристики в переходных режимах, сохраняя при этом приемлемый уровень коммутационных потерь.

Традиционно GaN-приборы реализуются в корпусах как дискретные устройства с внешними драйверами, так как при изготовлении GaN-приборов и их драйверов используются разные технологии, и даже их изготовители могут быть разными. У каждого корпуса будут проволочные выводы и/или контакты, которые вносят паразитную индуктивность, как показано на рисунке 1а. При коммутации с высокими скоростями нарастания напряжения в десятки-сотни вольт за наносекунду эти паразитные индуктивности могут приводить к коммутационным потерям, затухающим переходным процессам («звону») и проблемам с обеспечением надёжности.

Объединение GaN-транзистора с его драйвером (рисунок 1б) устраняет индуктивность цепи «общий провод – исток» и существенно снижает индуктивность между выходом драйвера и затвором GaN-транзистора, а также индуктивность в цепи заземления драйвера. В этой статье мы рассмотрим проблемы и ограничения, обусловленные паразитными параметрами корпуса. Оптимизация этих параметров в интегрированном корпусе уменьшает паразитные эффекты и позволяет добиться превосходных коммутационных характеристик при скоростях нарастания напряжения более 100 В/нс.

Схема для моделирования

Чтобы смоделировать влияние паразитных индуктивностей, мы использовали полумостовой силовой каскад на основе GaN-транзистора в режиме обеднения в конфигурации с прямым подключением драйвера (рисунок 2). Мы собрали полумост как понижающий преобразователь с напряжением на входе 480 В, 50%-ным рабочим циклом с временем отклю-

чения 50 нс (выходное напряжение $[V_{\text{вых.}}] = 240 \text{ В}$) и током индуктивности 8 А. Драйвер переключает затвор GaN-транзистора напрямую между уровнями напряжения включения и отключения. Сопротивление драйвера определяет скорость нарастания напряжения GaN-устройства при включении. Ток истока моделирует индуктивную нагрузку, подключённую к коммутационному узлу (SW) в понижающем преобразователе в режиме постоянной проводимости.

Индуктивность общего истока

Одним из наиболее важных паразитных элементов при высокоскоростной коммутации является индуктивность общего истока (L_{cs} на рисунке 1а), которая ограничивает скорость нарастания тока стока транзистора. В обычном корпусе TO-220 исток GaN-прибора выводится с помощью проволочных выводов на единый вывод, куда подключаются и ток стока, и ток затвора. Эта индуктивность общего истока модулирует напряжение затвор-исток при изменении тока стока. Индуктивность общего истока – включая проволочный вывод и вывод корпуса – может превышать 10 нГн, ограничивая скорость нарастания (di/dt) и увеличивая потери на коммутацию.

В случае интегрированного корпуса (рисунок 1б) земля драйвера подключается проволочным выводом напрямую к контактной площадке истока

кристалла GaN. Такое двухпроводное подключение истока минимизирует индуктивный тракт общего истока, который совместно образует цепь питания и цепь затвора, позволяя устройству переключаться с намного большими скоростями нарастания тока. Вывод истока для двухпроводного подключения можно добавить и в корпус отдельного устройства, но наличие дополнительного вывода делает такой корпус нестандартным. Вывод истока с двухпроводным подключением также должен быть проложен на печатной плате для обратного соединения с корпусом драйвера, что увеличивает индуктивность цепи затвора.

На рисунке 3 показаны сигналы жёсткого переключения при включённом ключе верхнего плеча. При индуктивности общего истока 5 нГн скорость нарастания становится наполовину меньше вследствие эффекта истощения истока. Меньшая скорость нарастания ведёт к увеличению времени переходного процесса и к более высоким потерям перекрёстной проводимости, как видно из графиков энергопотребления. При индуктивности общего истока 5 нГн потеря энергии возрастает с 53 до 85 мкДж, то есть на 60%. При частоте коммутации 100 кГц потеря мощности увеличивается с 5,3 до 8,5 Вт.

Индуктивность цепи затвора

Индуктивность цепи затвора включает в себя как индуктивность

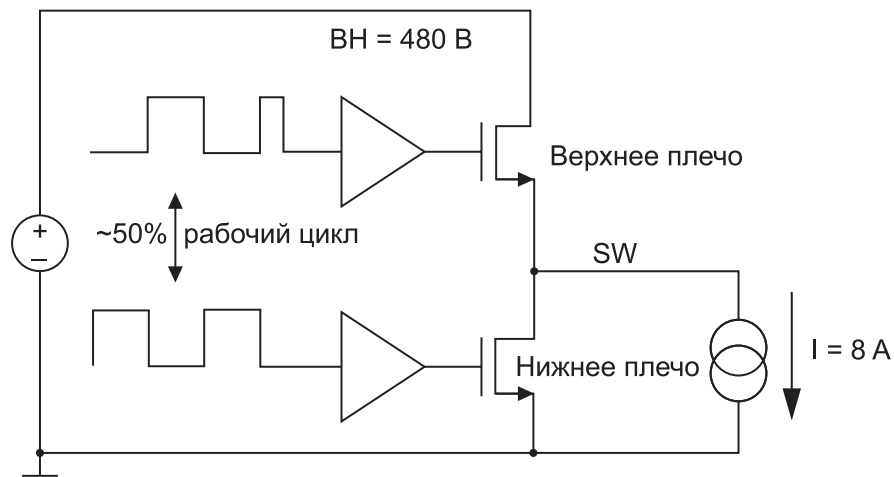


Рисунок 2. Упрощённая схема полумоста для моделирования

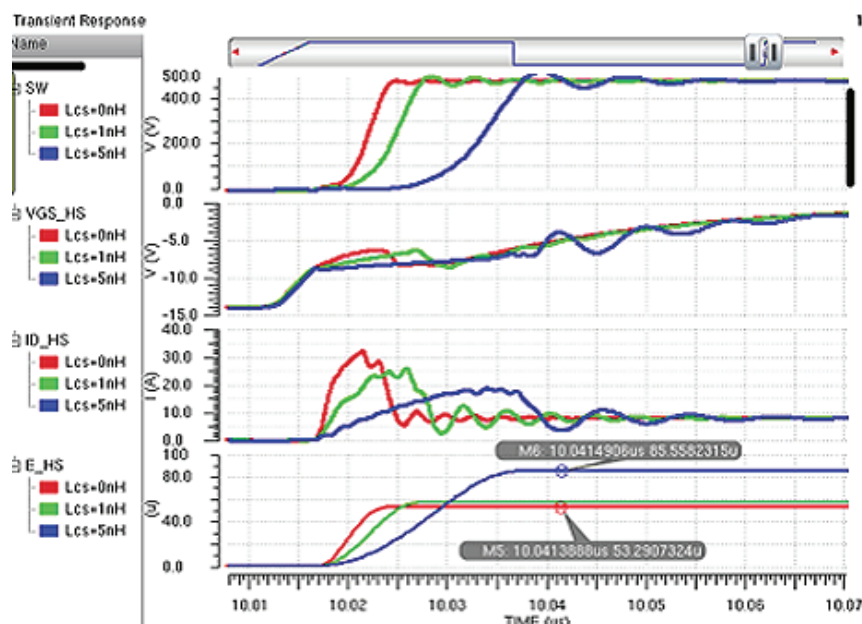


Рисунок 3. Включение верхнего плеча при различных индуктивностях общего истока: красный = 0 нГн, зелёный = 1 нГн, синий = 5 нГн. Характеристика E_HS — это результат интегрирования VDS (напряжение сток-исток) и ID_S (ток сток-исток) верхнего плеча устройства по времени (энергопотребление)

затвора, так и индуктивность заземления драйвера. Индуктивность затвора — это индуктивность между выходом драйвера и затвора GaN. В случае отдельных корпусов индуктивность затвора включает в себя индуктивность проволочного вывода выхода драйвера (L_{drv_out}), индуктивность проволочного вывода затвора GaN-транзистора (L_{g_gan})

и индуктивность печатного проводника на плате (L_{g_pcb}), как показано на рисунке 1а.

В зависимости от размера корпуса индуктивность затвора может находиться в диапазоне от нескольких наногенри в случае компактного корпуса для поверхностного монтажа (например, квадратного плоского безвыводного корпуса) до значений

более 10 нГн в случае силового корпуса с выводами (например, TO-220). Если драйвер объединяется с полевым GaN-транзистором на одной выводной рамке (рисунок 1б), затвор GaN-транзистора напрямую соединяется с выходом драйвера, что может снизить индуктивность затвора до значений менее 1 нГн. Объединение в одном корпусе также может существенно уменьшить индуктивность заземления драйвера (с $L_{drv_gnd} + L_{s_pcb}$ на рисунке 1а до L_{ks} на рисунке 1б).

Снижение индуктивности цепи затвора сильно влияет на коммутационные характеристики, особенно во время отключения, когда сигнал на затворе GaN-транзистора снижается благодаря резистору. Резистор должен иметь достаточно низкий номинал, чтобы устройство не включилось вновь, когда его сток подтягивается к верхнему уровню во время переключения. Этот резистор образует индуктивно-резистивно-емкостной (L-R-C) колебательный контур вместе с ёмкостью затвор-исток GaN-прибора и индуктивностью цепи затвора. Согласно выражению 1, добротность этого контура:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (1)$$

При большей индуктивности цепи затвора добротность увеличивается, и «звон» в контуре становится сильнее. Этот эффект моделируется 1-Ом резистором, выключающим полевой GaN-транзистор нижнего плеча. На рисунке 4 это происходит примерно в момент 9,97 мкс, когда индуктивность цепи затвора меняется с 2 до 10 нГн. В случае индуктивности 10 нГн напряжение затвор-исток нижнего плеча колеблется, опускаясь на 12 В ниже отрицательного смещения затвора. Это значительно увеличивает нагрузку на затвор GaN-транзистора. Следует заметить, что перегрузка затвора любого полевого транзистора повышает опасения, связанные с надёжностью системы.

Индуктивность цепи затвора также оказывает существенное влияние на запирающую способность. Когда затвор транзистора нижнего плеча удерживается в состоянии отключения, транзистор верхнего плеча

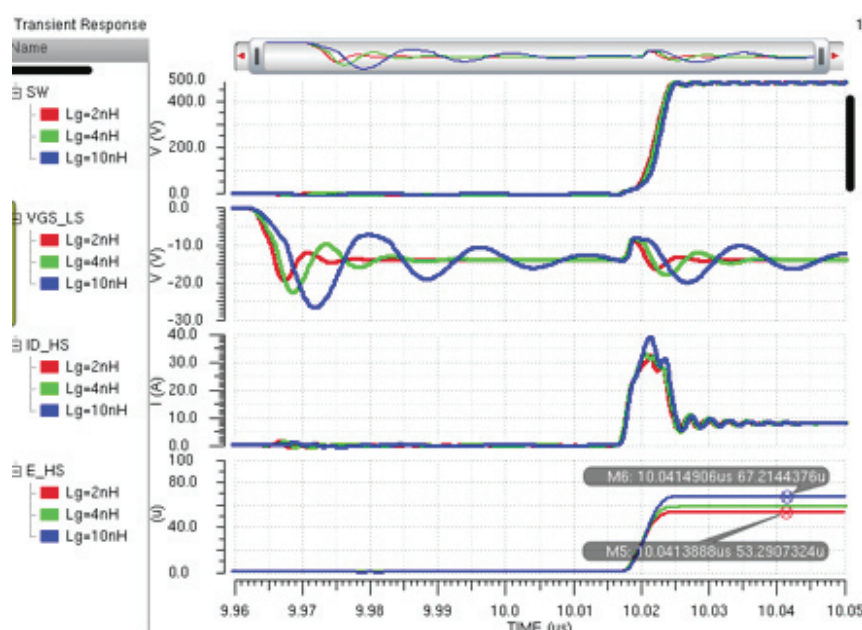


Рисунок 4. Сигналы при отключённом нижнем плече и включённом верхнем плече при различных индуктивностях цепи затвора: красный = 2 нГн, зелёный = 4 нГн, синий = 10 нГн. E_HS — энергопотребление в верхнем плече

включён, ёмкость сток-затвор нижнего плеча создаёт большой ток в цепь запертого затвора. Этот ток открывает затвор через индуктивность цепи затвора. На рисунке 4 показана ситуация в момент времени около 10,02 мкс. По мере увеличения индуктивности напряжение затвор-исток (VGS) возрастает, увеличивая сквозной ток, который виден на графиках тока стока верхнего плеча (ID_HS). Сквозной ток вызывает увеличение потери энергии при перекрёстной проводимости (E_HS) с 53 до 67 мкДж.

Одним из способов снижения потерь в затворе является увеличение понижающего сопротивления, что, в свою очередь, уменьшает добротность L-R-C-контура согласно выражению (1). На рисунке 5 показан результат моделирования при индуктивности цепи затвора 10 нГн и запирающем сопротивлении (Rpd), меняющемся от 1 до 3 Ом. Хотя недорегулирование затвора ограничивается несколькими вольтами ниже отрицательного смещения при 3-Ом понижающем сопротивлении, запирающая способность ухудшается, вызывая большой сквозной ток. Это становится очевидным, если обратиться к графикам тока стока.

Графики энергии E_HS показывают дополнительную потерю 13 мкДж в каждом цикле переключения, то есть почти 60%-ный рост с уровня в 53 мкДж по сравнению со случаем индуктивности цепи затвора 2 нГн и сопротивления понижающего резистора 1 Ом (рисунок 4).

При частоте коммутации 100 кГц потеря мощности в транзисторе верхнего плеча увеличивается с 5,3 до 8 Вт вследствие сквозного тока, обусловленного как высокой индуктивностью цепи затвора, так и высоким запирающим сопротивлением. Эта дополнительная потеря мощности может сильно затруднить теплоотвод в силовых приборах, а также увеличить стоимость их корпусов и охлаждения.

Можно подать смещение на затвор, чтобы получить большее отрицательное напряжение на нём для снижения сквозного тока, но это увеличивает нагрузку на затвор, а также потери в течение «мёртвого» времени, когда транзистор находится в третьем квадранте. Поэтому при высокой индуктивности

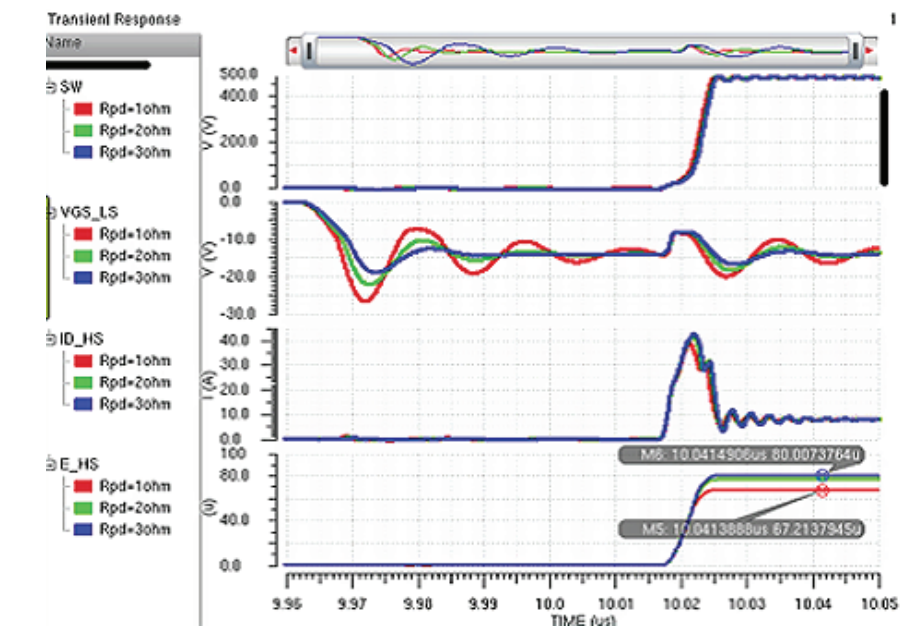


Рисунок 5. Результат моделирования при индуктивности цепи затвора 10 нГн и запирающем сопротивлении: Rpd = 1 Ом (красный), 2 Ом (зелёный) и 3 Ом (синий). E_HS – энергопотребление в верхнем плече

цепи затвора трудно достичь компромисса между нагрузкой на затвор и запирающей способностью транзистора. Нужно либо увеличить нагрузку на затвор, либо допустить сквозной ток полумоста, который увеличивает потери при перекрёстной проводимости и затухающий переходный процесс в силовой цепи и может создать проблемы, связанные с областью надёжной работы (ONP) транзистора. Корпус GaN-транзистора, объединённого с драйвером, обеспечивает низкую индуктивность цепи затвора и сводит к минимуму как нагрузку на затвор, так и опасность сквозного тока.

Защита GaN-транзисторов

Установка драйвера в одну рамку выводов с GaN-транзистором гарантирует, что их температуры близки друг к другу, поскольку рамка выводов является превосходным проводником тепла. В драйвер может быть встроена функция измерения температуры и защиты от перегрева, которая выключает GaN-транзистор, если температура выходит за допустимый порог.

Защита от перегрузки по току может быть реализована с помощью последовательно подключённого МОП-транзистора или параллельно подключённого измерительного GaN-

транзистора. В обоих случаях требуются соединения с низкой индуктивностью между GaN-транзистором и его драйвером. Поскольку GaN-транзистор обычно переключается очень быстро, с высоким значением di/dt, дополнительная индуктивность в соединении может вызвать затухающие переходные процессы и требует большой длительности блокирования, чтобы не допустить ложного срабатывания защиты от перегрузки по току. Объединение с драйвером обеспечивает соединения с минимальной индуктивностью между схемой измерения и полевым GaN-транзистором, поэтому схема защиты от перегрузки по току может срабатывать максимально быстро, защищая устройство от чрезмерных токов.

Вид сигнала при ступенчатом переключении

На рисунке 6 показан сигнал при переключении полумоста, собранного из двух GaN-транзисторов в квадратных плоских безвыводных корпусах (QFN) размером 8×8 мм со встроенным драйвером. Канал 2 показывает коммутационный узел, когда транзистор верхнего плеча быстро переключается со скоростью нарастания сигнала 120 В/нс при напряжении шины 480 В. Оптимизированный

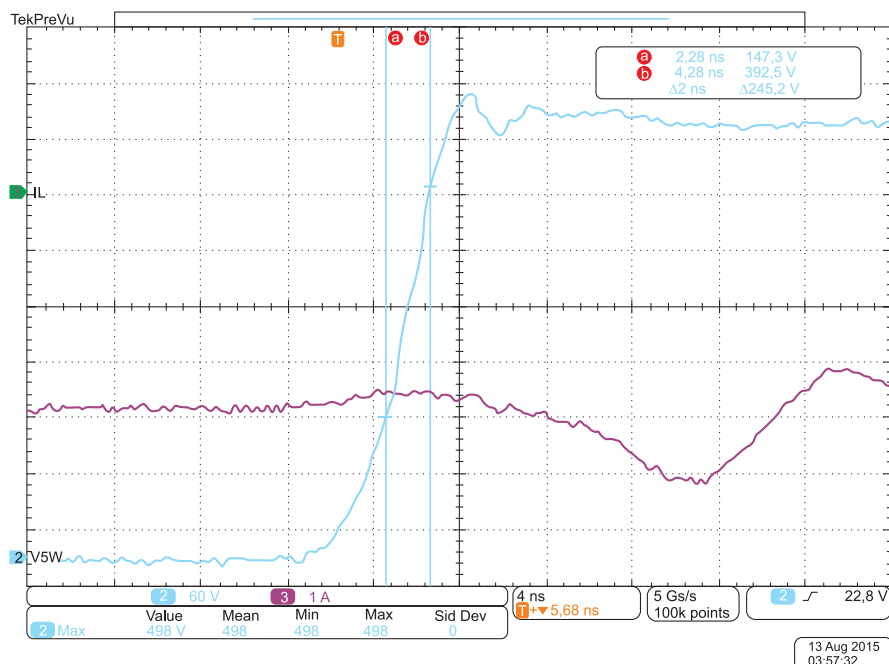


Рисунок 6. Вид сигнала в коммутационном узле при включённом верхнем плече в полумостовом преобразователе (канал 2)

корпус транзистора, объединённого с драйвером, и печатная плата ограничивают перенапряжение значением менее 50 В. Обратите внимание: сигнал снят с помощью зондов и осциллографа с частотой 1 ГГц.

Заключение

Объединение GaN-транзистора и его драйвера в одном корпусе исключает индуктивность общего источника, позволяя реализовать более высокие скорости нарастания тока. Оно также уменьшает индуктивность цепи затвора, что позволяет свети к минимуму нагрузку на затвор во время отключения и увеличивает запирающую способность транзистора. Кроме того, такое объединение позволяет разработчикам реализовать эффективную защиту от перегрева и от перегрузки по току полевых GaN-транзисторов.

TMP468 – высокоточный 9-канальный датчик температуры

Микросхема TMP468 представляет собой многоканальную систему контроля температуры, в которой один из датчиков интегрирован в микросхему и ещё до 8 внешних датчиков могут быть подключены дополнительно.

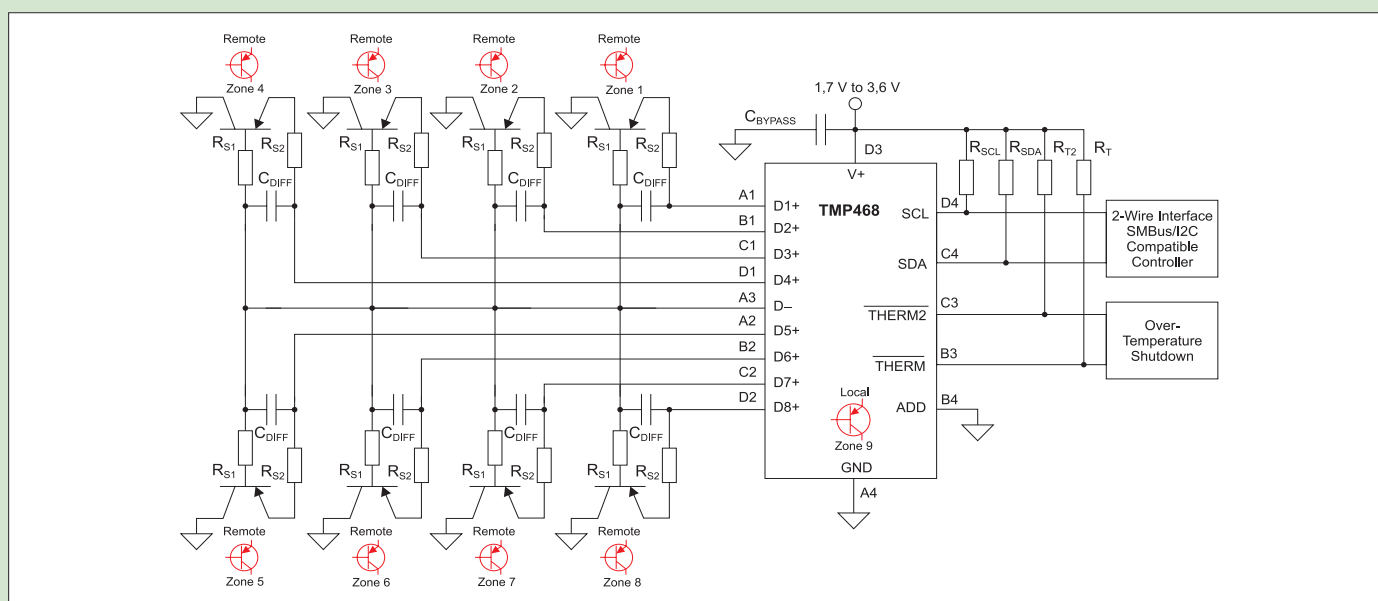
В качестве внешних термодатчиков рекомендуется использовать недорогие транзисторы ММВТ3904.

Расстояние от микросхемы до внешних термодатчиков может составлять десятки сантиметров и более, однако при удалении более 20 см рекомендуется использовать соединение витой парой, лучше – экранированной.

Микросхема TMP468 предназначена, в первую очередь, для темпе-

ратурного мониторинга элементов, установленных на печатных платах, таких как высокопроизводительные процессоры, FPGA, узлы питания, а также для контроля температуры в блоках светодиодного освещения и т. п.

www.ti.com/product/TMP468



Джил Рейтер (Gil Reiter)

Руководство по инициализации подключения к Wi-Fi® для устройств из мира «Интернета вещей»

Wi-Fi® — наиболее широко распространённая на сегодня технология беспроводного подключения к сети. Став стандартной функцией всех переносных компьютеров, смартфонов и планшетов, Wi-Fi завоёвывает более простые устройства, такие как бытовые приборы, термостаты и многие другие устройства автоматизации жилищ и зданий, заполняющие бурно развивающийся «Интернет вещей» (IoT). Простая и надёжная инициализация подключения к сети устройств IoT, которые не имеют клавиатуры и дисплея в качестве пользовательского интерфейса, представляет собой достаточно сложную задачу. В этой статье мы рассмотрим основные имеющиеся на рынке способы инициализации подключения к Wi-Fi и дадим рекомендации по правильному выбору способа подключения для вашего устройства.

Что такое инициализация подключения к Wi-Fi?

Инициализация подключения к Wi-Fi — это процесс подключения нового устройства Wi-Fi (станции) к Wi-Fi-сети. Процесс инициализации предполагает загрузку в станцию имени сети (часто его называют SSID — идентификатор набора служб) и её учётных данных безопасности. Стандарт безопасности Wi-Fi® проводит различие между персональной безопасностью, в основном используемой в домах и на небольших предприятиях, и корпоративной безопасностью, используемой в больших офисах и кампусах. В случае корпоративной безопасности инициализация станции обычно предполагает установку сертификатов, которые используются для проверки целостности станции и сети путём взаимодействия с сервером безопасности, находящимся под управлением IT-отдела. С другой стороны, персональную безопасность Wi-Fi должны обеспечивать сами пользователи у себя дома, и это предполагает просто ввод заданного пароля. Чтобы надёжно обеспечить

безопасность, пароль может иметь длину до 64 символов.

В статье ограничимся персональной безопасностью сети Wi-Fi и задачей простой загрузки пользователем имени сети и пароля в Wi-Fi-станцию IoT.

Задача инициализации беспроводного подключения в устройствах IoT

Технология Wi-Fi® была создана для того, чтобы переносные устройства, такие как ноутбуки, а позже — мобильные устройства, такие как сотовые телефоны и планшеты, могли подключаться к Интернету без проводов. Такие персональные вычислительные устройства по определению имеют дисплей и клавиатуру в качестве интерфейса пользователя. Например, обычная процедура подключения сотового телефона к сети Wi-Fi осуществляется через страницу настроек Wi-Fi этого телефона. Телефон осуществляет поиск сетей Wi-Fi и предоставляет пользователю список доступных сетей. После того как сеть

выбрана, пользователю предлагается ввести пароль. Если пароль введён правильно, инициализация подключения считается успешной и часто указывается значком Wi-Fi на панели состояния.

Трудность в устройствах IoT заключается в том, что многие из них не имеют дисплея и клавиатуры, а иногда у них вообще нет никакого пользовательского интерфейса. Таким «безголовым» устройствам нужны другие способы получения имени сети и пароля от пользователя. Альтернативный способ подключения должен быть простым и надёжным. В большинстве случаев он предполагает использование ПК, телефона или планшета в качестве расширенного интерфейса пользователя для IoT-устройства, который даёт пользователю возможность ввести информацию о сети с помощью дисплея и клавиатуры ПК, телефона или планшета.

В нескольких следующих параграфах мы дадим краткий обзор широко распространённых на рынке способов инициализации подключения. Затем мы рассмотрим ключевые аспекты выбора правильных способов инициализации и дадим рекомендации разработчику системы.

Безопасная настройка Wi-Fi

Безопасная настройка беспроводной сети (Wi-Fi Protected Setup, или WPS) — единственный промышленный стандарт, имеющийся на сегодня для подключения к сети «безголовых» устройств, то есть не имеющих пользовательского ин-

терфейса. Он был введён объединением крупнейших производителей компьютерной техники и беспроводных устройств *Wi-Fi* (*Wi-Fi Alliance*) в 2006 г. в качестве простого и безопасного способа инициализации подключения устройств, не требующего знания имени сети и ввода длинных паролей. Этот стандарт устанавливает два обязательных способа для точек доступа (ТД), поддерживающих WPS: способ с использованием персонального идентификационного номера (*Personal Identification Number* – PIN) и способ подключения нажатием кнопки (*Push-Button-Connect* – PBC).

В случае способа с использованием PIN 8-значный PIN печатается на стикере (рисунок 1), либо на точке доступа, либо на подключаемом устройстве. Пользователь должен прочесть этот PIN на одном устройстве и набрать его на клавиатуре другого устройства. Поскольку точки доступа не имеют клавиатур, PIN обычно печатается на точке доступа (ТД) и вводится пользователем на подключаемом устройстве. Очевидный недостаток этого способа заключается в том, что он не работает в случае устройств, не имеющих пользовательского интерфейса, – для такого способа нужна хотя бы цифровая клавиатура, чтобы ввести PIN.

В случае способа PBC пользователь нажимает кнопку как на точке доступа (ТД), так и на подключаемом устройстве. Как только кнопка на точке доступа будет нажата, устройство, поддерживающее WPS, сможет свободно подключиться к сети в течение 2 минут. Недостаток этого способа, помимо отсутствия защиты в течение этого 2-минутного периода, заключается в том, что пользователь должен иметь физический доступ к точке доступа. Если ТД находится в труднодоступном месте, этот способ может оказаться неудобным.

При использовании обоих способов, PIN и PBC, ТД и подключаемое устройство обмениваются серией сообщений для установления временного защищённого соединения, которое используется для передачи SSID и пароля из ТД в подключаемое устройство.



Рисунок 1. Например, PIN-номер WPS напечатан на точке доступа D-Link® (слева), а кнопка подключения WPS находится на точке доступа Cisco (справа)



Основная проблема стандарта WPS была вскрыта в 2011 году Стефаном Фибёком (*Stefan Viehböck*) [1], который обнаружил серьёзный недостаток способа с использованием PIN, позволяющий получить сетевой пароль менее чем за четыре часа путём простого перебора. Поскольку способ с использованием PIN обязателен для получения сертификации WPS, все новые ТД, выпускаемые на рынок начиная с 2007 г., поддерживали этот способ по умолчанию. Более того, во многих ТД не была предусмотрена возможность отключения функций WPS.

Сразу же после того, как была обнаружена эта прореха в защите, большинство поставщиков ТД рекомендовали отключить поддержку WPS, и, хотя большинство из них выпустили обновления своих изделий, предотвращающие взлом, стандарт WPS приобрел плохую репутацию в отрасли и некоторые страны до сих пор не используют его.

Режим точки доступа

Режим точки доступа (AP) – наиболее широко применяемый на сегодняшний способ подключения для устройств, не имеющих пользовательского интерфейса. В режиме AP неподключённое (неинициализированное) устройство сначала запускается как ТД с SSID, который задан изготовителем оборудования. Прежде чем впервые попытаться подключиться к домашней сети, неинициализированное устройство создаёт свою собственную сеть, позволяя ПК или смартфону подключиться к ней

напрямую, чтобы позволить выполнить его начальное конфигурирование.

В этом режиме неинициализированное устройство включает в себя также встроенный веб-сервер. После того как пользователь подключит свой смартфон к ТД неинициализированного устройства, он открывает веб-браузер смартфона и входит на веб-сервер устройства, используя заданный локальный URL или IP-адрес.

На встроенном веб-сайте пользователь выбирает (или вводит) имя домашней сети и пароль. Устройство сохраняет сетевые реквизиты в энергонезависимой памяти, а затем переходит из режима AP в режим станции, чтобы подключиться к домашней сети с использованием сохранённых сетевых реквизитов.

На рисунке 2 показан снимок экрана iPad, на который выведена вкладка настройки микроконтроллера CC3200 семейства SimpleLink™ с интегрированным модулем *Wi-Fi* реализованного в микросхеме веб-сервера. Эта вкладка настройки даёт пользователю возможность ввести SSID и ключ безопасности для нескольких профилей сети.

После того как конфигурирование будет завершено, микроконтроллер CC3200 (или CC3100) автоматически подключится к одной из доступных сетей на основании задаваемых пользователем приоритетов [2].

Основное преимущество подключения в режиме ТД заключается в том, что в нём используются стандартные возможности, которые имеются во многих смартфонах, планшетах

Технология SmartConfig™

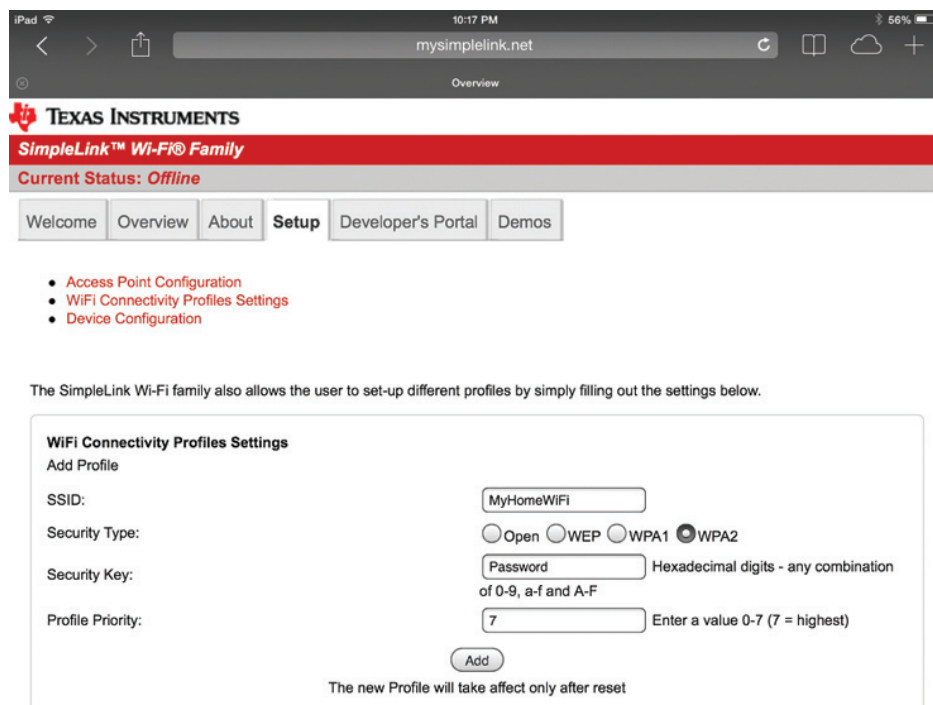


Рисунок 2. Страница настройки реализованного в микросхеме веб-сервера микроконтроллера CC3200 семейства SimpleLink с модулем Wi-Fi

и ПК. Ещё одно преимущество заключается в том, что поставщики могут добавлять дополнительные параметры к встроенному веб-серверу для конфигурирования других функций устройства одновременно с регистрацией в сети Wi-Fi.

Для повышения безопасности на устройстве может использоваться нажимная кнопка для активации режима точки доступа, а для конфигурирования ТД может использоваться заранее заданный пароль.

Недостаток режима AP (ТД) заключается в том, что при подключении к конфигурационной сети AP неинициализированного устройства телефон отключается от домашней сети. Это может вызвать перерывы в передаче данных и привести к появлению сообщений об ошибках. На ПК, если активны и Wi-Fi-соединение, и Ethernet-соединение, браузер может отдать приоритет Ethernet-соединению и не подключиться к неинициализированному устройству по Wi-Fi. Пользователь должен отключить Ethernet-соединение, прежде чем использовать инициализацию Wi-Fi в режиме AP (ТД).

Появившиеся недавно смартфоны проверяют, действительно ли сеть Wi-Fi подключена к Интернету. Если интернет-соединение прерывается

(как это бывает, когда телефон соединяется с ТД неинициализированного устройства), эти смартфоны отключаются от сети Wi-Fi, а затем принудительно устанавливают соединение сотовой системы передачи данных. Заблокировать такое поведение телефона можно, но для этого требуются расширенные настройки на странице конфигурации устройства, что усложняет пользование устройством для потребителя.

Функция конфигурирования беспроводных устройств (WAC) Apple

Функция конфигурации беспроводных устройств (WAC) — это лицензированная технология Apple MFi, предназначенная для принадлежностей MFi, которые подключаются к iPod, iPhone и iPad. Принадлежности MFi, которые поддерживают WAC, можно легко сконфигурировать с помощью iPod, iPhone и iPad, при этом от пользователя не требуется вводить имя сети и пароль. Подробная информация о функции WAC доступна обладателям лицензий на разработку и изготовление устройств Apple MFi.

Технология SmartConfig — это фирменный способ инициализации подключения корпорации TI, предназначенный для устройств без пользовательского интерфейса, предложенный в 2012 г. Он предполагает использование мобильного приложения для передачи сетевых реквизитов из смартфона или планшета в неподключённое Wi-Fi-устройство корпорации TI. Когда SmartConfig включается в неподключённом устройстве, оно входит в специальный режим сканирования, ожидая получения информации о сети, которая передаётся телефонным приложением. Телефон должен быть подключён к сети Wi-Fi, чтобы он мог передавать сигнал SmartConfig по беспроводным каналам. Обычно это та же домашняя сеть, к которой новое устройство собирается подключиться.

Имя сети Wi-Fi (SSID), к которой подключён телефон, автоматически появляется в телефонном приложении. После этого пользователь вводит пароль сети и нажимает кнопку «Пуск», чтобы начать процесс. Также есть вариант добавления имени устройства, которое передаётся телефоном вместе с информацией о сети и программируется в памяти устройства Wi-Fi.

Для повышения безопасности SmartConfig имеет возможность шифровать передаваемые между устройством и телефоном данные с помощью предварительно выданного ключа. Предварительно выданный ключ обычно печатается на этикетке коробки устройства и может быть отсканирован телефонным приложением до запуска процесса SmartConfig.

После того как устройство SimpleLink получит сетевые реквизиты, оно автоматически подключается к сети и отправляет сообщение обнаружения сервисов обратно на телефон. Телефонное приложение получает сообщение обнаружения сервисов и извещает пользователя о том, что новое устройство успешно подключилось к сети.

На рисунке 3 показан пример снимков экрана приложения SmartConfig. На левом снимке экрана пользователь вводит пароль и имя устройства.

На экране справа мы видим уведомление, полученное после успешного подключения устройства.

Корпорация Texas Instruments предлагает библиотеку SmartConfig для операционных систем iOS и Android™, а также демонстрационное приложение в Apple App store и в Google Play. Исходный код приложения можно загрузить с [веб-сайта TI](#). Многие IoT-устройства имеют телефонные приложения, которые используются для управления и контроля IoT-устройства и для регистрации устройства в сети. Поставщики могут использовать библиотеку SmartConfig, чтобы упростить интегрирование функции SmartConfig в свои приложения.

Два ключевых преимущества SmartConfig — это простота использования и возможность беспрепятственной интеграции в телефонное приложение устройства. Другая уникальная возможность технологии SmartConfig — способность обеспечивать подключение нескольких устройств одновременно. Если несколько устройств *Wi-Fi* одновременно находятся в режиме SmartConfig, одно телефонное приложение может обеспечить подключение их всех одновременно.

Помимо того что SmartConfig работает только в устройствах TI, основной недостаток этой технологии заключается в том, что телефон должен подключаться к сети, используя ту полосу частот и ту скорость передачи данных, которые поддерживаются неподключённым устройством. Например, если неподключённое устройство поддерживает только диапазон 2,4 ГГц, а телефон использует для связи с двухдиапазонной сетью диапазон 5 ГГц, то SmartConfig не будет работать просто потому, что неподключённое устройство не принимает сигналы в диапазоне 5 ГГц. Некоторые новые маршрутизаторы и телефоны для увеличения пропускной способности используют собственные скорости передачи данных и также могут не работать со SmartConfig.

Поскольку подавляющее большинство маршрутизаторов работает в диапазоне 2,4 ГГц и использует стандартные скорости передачи данных *Wi-Fi*, технология SmartConfig

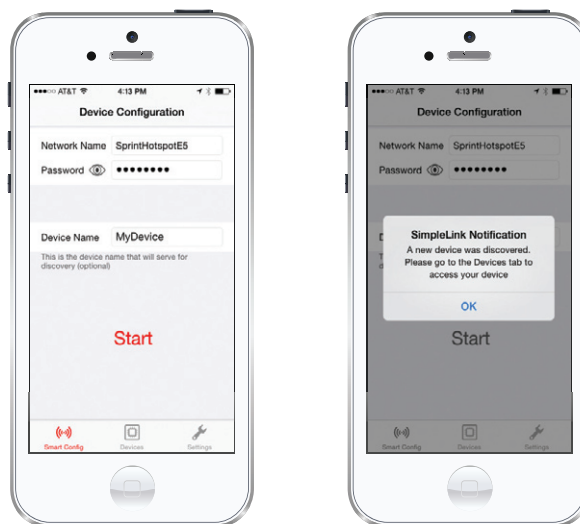


Рисунок 3. Телефонное приложение SmartConfig корпорации Texas Instruments

хорошо работает в большинстве ситуаций.

Внеполосное подключение

Способы подключения, о которых шла речь до сих пор, можно назвать внутриполосным подключением, потому что в них используется радиосвязь *Wi-Fi* для передачи информации о сети в неподключённое устройство. Преимущество внутриполосного подключения состоит в том, что оно не требует дополнительных интерфейсов или элементов системы для осуществления подключения, а использует средства радиосвязи *Wi-Fi*, встроенные в устройство.

Внеполосные способы подключения используют для передачи информации о сети в подключаемое устройство среду, отличную от *Wi-Fi*. Внеполосное подключение может быть проводным, например с помощью интерфейса USB, или беспроводным, например с помощью технологии радиосвязи ближнего радиуса действия (NFC) или *Bluetooth*®. Добавление в устройство возможности внеполосного первичного подключения повышает его надёжность и универсальность, но увеличивает стоимость решения.

Аспекты проектирования

Итак, мы рассмотрели наиболее широко используемые способы пер-

вичного подключения к *Wi-Fi* и обсудили некоторые из их ключевых характеристик, их достоинства и недостатки. Далее мы рассмотрим важные аспекты, которые обязательно следует учитывать при выборе способа (или способов) инициализации подключения, и дадим рекомендации по выбору подходящего способа для различных систем. Мы сосредоточимся на внутриполосных способах подключения, поскольку они вызывают большинство вопросов и трудностей.

Простота использования

Простота использования — важная характеристика потребительских товаров. Многие простые устройства «Интернета вещей» рассчитаны на обычных домашних пользователей, которые не обладают глубоким пониманием процесса подключения и иногда имеют ограниченные навыки работы на компьютере или не имеют их вообще. Так как подключение — это первое, что пользователи делают, когда открывают коробку с устройством, оно может сформировать их общее мнение об устройстве. В этих случаях простота использования имеет наивысший приоритет для разработчика.

Говоря о простоте использования, мы рассматриваем такие тривиальные вещи, как количество операций, которые должен выполнить пользователь, чтобы подключить

устройство. Мы также спрашиваем себя, сможет ли пользователь воспользоваться средствами, с которыми он уже знаком, или ему придется осваивать новые средства, чтобы решить эту задачу.

WPS, WAC и технология SmartConfig – самые простые в использовании способы. Хотя WPS не требует никаких знаний и средств, для него требуется физический доступ к маршрутизатору *Wi-Fi*, чтобы нажать кнопку WPS. Поскольку большинство пользователей смартфонов знают, как загружать и использовать телефонные приложения, технология SmartConfig предлагает пользователю знакомый интерфейс, но требует, чтобы он ввёл пароль сети.

Безопасность

С точки зрения безопасности с подключением к *Wi-Fi* связаны следующие два главных риска: (i) любитель подслушивать может получить пароль сети и воспользоваться им для подключения к домашней сети, и (ii) злоумышленник может использовать окно подключения устройства, чтобы взять его под контроль. В большинстве случаев первый риск вызывает наибольшие опасения.

Можно обоснованно утверждать, что риски, которым подвергается безопасность при подключении к *Wi-Fi* устройств «Интернета вещей», ограничены при всех способах подключения, рассмотренных в этой статье, если эти способы используются правильно, поскольку подключение осуществляется только один раз за весь срок службы устройства или по крайней мере очень редко. Кроме того, во время подключения пароль сети передаётся в течение короткого времени в момент, контролируемый пользователем. Злоумышленник должен точно знать, когда произойдёт подключение, и у него будет очень мало времени на то, чтобы провести атаку. Более того, злоумышленник должен находиться в радиусе действия сети *Wi-Fi* в тот момент, когда осуществляется подключение. Тем не менее значение безопасности никогда не следует недооценивать, и во многих случаях это имеет решающее значение.

Режим AP, WAC и технология SmartConfig имеют встроенную защиту. В случае режима AP и технологии SmartConfig разработчик должен выбрать использование защиты (то есть в режиме AP точка доступа должна быть сконфигурирована для применения защиты, а в WAC защита подключения используется всегда).

В случае способа подключения с помощью кнопки WPS риск с точки зрения безопасности заключается в том, что, когда ТД находится в режиме WPS, любое устройство *Wi-Fi*, находящееся поблизости, может использовать WPS для подключения к этой сети *Wi-Fi*.

Надёжность и универсальность

Надёжность и универсальность тесно связаны с простотой использования, потому что связаны с возможностью того, что подключение не будет работать или потребует каких-либо действий по устранению проблем. Но это заслуживает отдельного разговора, так как каждому из способов подключения присущи собственные уникальные ограничения.

Очевидное ограничение WPS заключается в том, что не все ТД его поддерживают. Во многих ТД, которые не поддерживают WPS, эта поддержка отключена по умолчанию из-за бреши в защите способа подключения с использованием PIN, которая обсуждалась выше. Если поддержка WPS отключена, пользователю требуется войти на веб-портал ТД, чтобы включить функцию WPS. Для многих пользователей это слишком сложно.

Технология SmartConfig имеет некоторые присущие ей ограничения, которые были рассмотрены выше и которые могут не позволить ей выполнить подключение к некоторым ТД, использующим диапазон 5 ГГц или свои собственные скорости передачи данных.

Режим AP, вероятно, является наиболее надёжным и универсальным способом подключения к *Wi-Fi*. Подключение в режиме AP будет работать в большинстве случаев, за исключением некоторых новых моделей телефонов, которые от-

ключают сеть *Wi-Fi*, не подключённую к Интернету (как указано выше, такой режим можно отключить). Вероятно, в этом заключается причина того, что большинство устройств и систем «Интернета вещей» на сегодня используют именно этот способ подключения.

В тех случаях, когда надёжность не является самым важным аспектом, следует рассмотреть способ беспроводного подключения, например с помощью USB.

Унификация

WPS и WAC выполняют единственную функцию – подключение к *Wi-Fi*, а режим AP и технологию SmartConfig вполне можно интегрировать в систему управления устройства и уподобить другим его функциям. Технологию SmartConfig можно интегрировать в телефонное приложение устройства, чтобы обеспечить его единообразное восприятие пользователем, позволяющее реализовать несколько вариантов конфигурирования с помощью одного и того же пользовательского интерфейса. Режим AP даёт аналогичные преимущества при использовании веб-браузера для взаимодействия с несколькими функциями устройства из одной позиции.

Заключение

Мы рассмотрели основные способы инициализации подключения к *Wi-Fi* для устройств, не имеющих собственного пользовательского интерфейса, и рассмотрели их достоинства и связанные с ними трудности. Поскольку ясно, что ни один из способов подключения не является идеальным, на практике правильным подходом была бы поддержка в устройстве нескольких вариантов подключения.

В случае профессиональных или промышленных устройств может быть достаточно режима AP, так как он обеспечивает наилучшую надёжность и универсальность. Во многих устройствах IoT на сегодня режим AP выбран в качестве их единственного способа подключения.

В случае аксессуаров MFi, которые подключаются к iPod, iPhone и iPad,

естественным вариантом выбора является WAC. Для поддержки подключения с использованием других телефонов, планшетов или ПК в аксессуар следует добавить дополнительный способ подключения.

Если важна простота использования, подходят WPS или технология SmartConfig, потому что они обеспечивают наибольшую простоту для пользователя. Технология SmartConfig является естественным выбором, если нужно организовать подключение как работу с телефонным приложением. Если использование телефонного приложения не является обязательным, правильным вариантом выбора будет WPS.

WPS или SmartConfig смогут охватить большинство вариантов установки устройств, но, поскольку они не будут работать в 100% всех случаев, рекомендуется добавить в устройство режим AP в качестве варианта «режима для продвинутых пользователей». Пользователям можно дать указание использовать режим AP, если им не удаётся подключиться с помощью WPS или SmartConfig.

Подключение с помощью микроконтроллеров CC3100 и CC3200 семейства SimpleLink с модулем Wi-Fi

Платформы CC3100 и CC3200 семейства SimpleLink с модулем *Wi-Fi* обеспечивают потребителям наибольшую гибкость с точки зрения способов подключения, так как поддерживают все рассмотренные выше внутрисетевые способы. Благодаря своим новым интерфейсам прикладного программирования SimpleLink и возможностям автономного модуля управления *Wi-Fi* микроконтроллеры CC3100 и CC3200 делают подключение простой задачей для разработчика устройств. Приложение может включить использование любого способа подключения с помощью простых вызовов интерфейса прикладного программирования, а корпорация TI предлагает типовое программное обеспечение для SmartConfig, режима AP и WPS. Имя сети *Wi-Fi* и пароль автоматически и надёжно записываются во flash-память последовательного доступа и используются встроенным модулем

управления *Wi-Fi* для подключения к сети без всякого участия пользователя и без кода приложения.

Встроенный в микросхему веб-сервер микроконтроллеров CC3100 и CC3200 делает проектирование подключения точки доступа чрезвычайно простым. Разработчик может включить заранее заданные элементы конфигурации в HTML-страницы, которые хранятся во flash-памяти последовательного доступа и автоматически загружаются веб-сервером. Чтобы ещё больше упростить работу, микроконтроллеры CC3100 и CC3200 имеют в своём составе реализованный в микросхеме веб-сайт для подключения, который выполняет работу по подключению точки доступа без кода пользователя и вообще без каких-либо усилий с его стороны. Узнайте больше на сайте www.ti.com/simplelinkwifi.

Литература

1. [Viehböck, Stefan \(2011-12-26\). Brute forcing Wi-Fi Protected Setup \(PDF\)](#)
2. Watch this video for a TI AP mode provisioning illustration.

TAS2555 – аудиоусилитель класса D со встроенным повышающим DC/DC-конвертером

Микросхема TAS2555 соединяет в себе малошумящий усилитель звуковой частоты с цифровым входом и повышающий преобразователь напряжения. Расположенный на кристалле ЦСП поддерживает специальный алгоритм, разработанный Texas Instruments, который обеспечивает защиту излучателя звука на максимальных нагрузках. Микросхема может быть использована совместно с любым процессором, снабжённым интерфейсом I²S. Для построения стереоусилителя можно использовать две микросхемы TAS2555.

Преобразователь напряжения класса H обеспечивает питание уси-

лителя. Если для получения заданной выходной звуковой мощности достаточно напряжения батареи, то преобразователь отключается, и усилитель питается непосредственно от батарей. Если же напряжения батареи недостаточно – используется повышающий конвертер. Он способен поднять напряжение до 8,5 В, обеспечивая мощность в нагрузке до 5,7 Вт и более.

Основные характеристики микросхемы TAS2555:

- Напряжение питания:
 - Аналоговое: 1,65–1,95 В.
 - Цифровое: 1,62–3,6 В.
 - На входе BOOST: 2,9–5,5 В.

- Выходная мощность до 5,7 Вт при уровне искажений 1% и до 6,9 Вт при 10%.
- Частота дискретизации от 8 до 96 кГц.
- Виды защиты: от КЗ, от недостаточного напряжения и тепловая.
- Интерфейс I²S для данных и I²C/SPI для управления.
- Встроенные датчики напряжения и тока звукоизлучателя, напряжения батареи.
- 42-выводный корпус с шариковыми выводами (WCSP) размером 3,5×3,2 мм.

www.ti.com

Катерина Макаланда (Kathrina Macalanda)

Используйте современный предохранитель!

Таксофоны? Устарели. Телефоны-раскладушки? Устарели. Предохранители? Устарели. Мы стоим в очереди за смартфоном следующего поколения, немедленно обновляем операционную систему до последней версии и постоянно ищем инновации в технологиях. Так почему инженеры по-прежнему используют устаревшие предохранители и автоматы защиты?

Линейка электронных предохранителей (eFuses) стандарта UL — это предохранители следующего поколения, обеспечивающие защиту активных цепей и предотвращение коротких замыканий, перегрузок по току и перенапряжений. И, что ещё лучше, их не нужно заменять после срабатывания — экономия денег и времени налицо.

Разорвите контракт с элементом защиты цепи

При перегрузке предохранитель отключает остальную часть цепи для предотвращения электрических повреждений и пожара. Однако после срабатывания обычного предохранителя система не сможет работать до его физической замены, что при-

водит к незапланированному ТО, расходам и недовольству клиентов. Самовосстанавливающийся предохранитель с положительным температурным коэффициентом (ПТК) — срабатывает при фиксированном токе при достижении заданной температуры. Предохранитель автоматически восстанавливается после снижения температуры. Однако даже если предохранитель остыл, его внутреннее сопротивление может остаться относительно высоким, а восстановление до исходного уровня может занять часы или даже годы. Возможна ситуация, при которой начальное сопротивление предохранителя так никогда и не восстановится, поскольку каждое срабатывание уменьшает его качество; в то время как электронный предохранитель восстанавливается немедленно и сохраняет свои харак-

теристики после каждого отключения по перегрузке.

Мощная новинка с новыми преимуществами

Электронные предохранители способны на большее, чем просто защита от перегрузок. Предохранители TI, например TPS25942A, позволяют осуществлять программируемый контроль пускового тока, блокировать обратный ток и содержат несколько компонентов управления и защиты нагрузки. И всё это богатство заключено в корпус размерами 3×4 мм (рисунки 1).

Помимо программируемого ограничения тока, эти предохранители также способны осуществлять программируемую защиту от недостаточного или чрезмерного напряжения. Некоторые предохранители имеют индикаторы состояния: мониторинг тока (IMON), мониторинг напряжения (PG), индикатор отказа (FLT). При возникновении сбоя eFuse может или заблокировать всю цепь (и устройство останется выключенным даже после устранения отказа), или автоматически повторить попытку (в этом случае устройство предпринимает попытку перезапуска после отказа). Предохранитель демонстрирует одинаковые характеристики даже после многих срабатываний.

Больше, чем просто предохранитель

Электронные предохранители многообразные, они сохраняют исхо-

Таблица 1. Сводная информация по предохранителям, самовосстанавливающимся предохранителям и eFuses

Предохранители	Самовосстанавливающиеся предохранители с ПТК (Polyfuse)	Texas Instruments eFuses. Соответствуют UL
<ul style="list-style-type: none"> • Однократное использование • Высокие потери на I²R • Мгновенная отсечка или с задержкой по времени • Система выключается до замены 	<ul style="list-style-type: none"> • Предел по току, обусловленный температурой • Автоматический перезапуск после отказа • Сопротивление во включённом состоянии (RON) растёт после каждого восстановления • Отсечка только с задержкой по времени • Длительное восстановление 	<ul style="list-style-type: none"> • Программируемый порог по току • Быстрая отсечка (< 1,5 мкс) • Индикаторы: отказ, PG, IMON и т. д. • Настраиваемые UVLO и OVLO • Тепловая защита • Опция: автовосстановление или блокировка • Ограничение тока или разрыв цепи

Replace all these components...

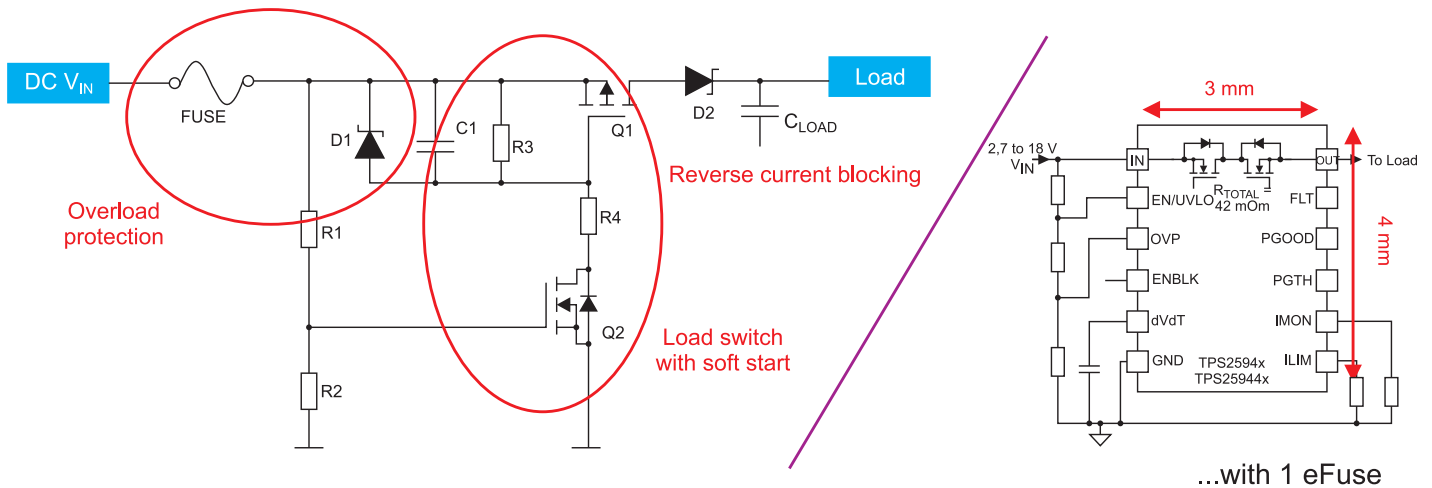


Рисунок 1. Дискретная схема предохранителя и коммутатора нагрузки интегрирована в электронные предохранители, подобные TPS25942A

дные характеристики после каждой перегрузки. Кроме того, их можно использовать различными способами. Помимо традиционной роли предохранителя, eFuse может выполнять задачи коммутатора нагрузки, мультиплексора питания или контроллера «горячей замены» (рисунок 2).

eFuse требует меньше внешних компонентов, имеет встроенный ограничитель тока и обладает меньшими размерами. Идеальный вариант для заменяемых «на ходу» устройств, например адаптеров питания, твердотельных жёстких дисков (SSD) и серверных вентиляторов.

При сравнении функциональности и сфер применения электронный предохранитель выглядит универсальным устройством по сравнению с традиционными предохранителями. Не оставайтесь в темноте, — ведь обыкновенный предохранитель может выйти из строя. Переходите на eFuse.

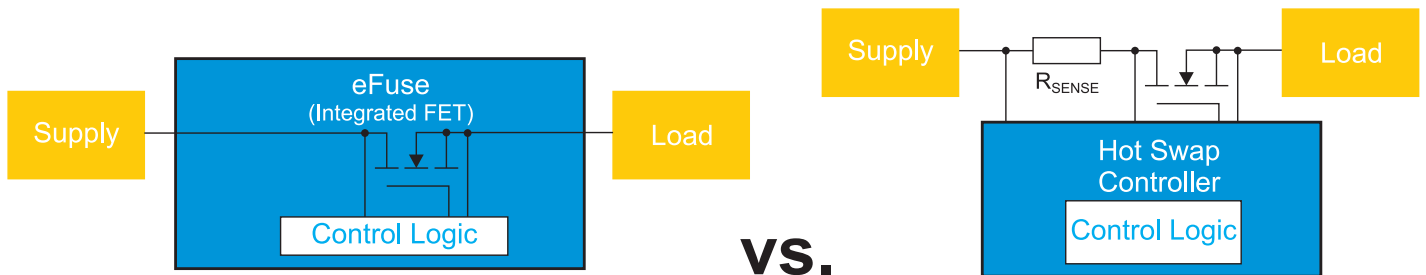


Рисунок 2. eFuse содержит датчик и элемент управления FET, обычно входящие в состав контроллеров «горячей замены»

Создайте будущее с TI

- SimpleLink™ Wi-Fi CC3200 Audio BoosterPack
- SimpleLink™ Wi-Fi® CC3200 Module LaunchPad™
- SimpleLink™ Wi-Fi® CC3200 LaunchPad™ CC3200-LAUNCHXL



Абхишек Кумар (Abhishek Kumar)

Как eFuse может помочь обеспечить надёжную защиту тракта подачи электропитания в промышленных системах

В статье представлен обзор нескольких подходов к созданию надёжной защиты силового тракта промышленного назначения, включая реализацию на дискретных элементах, метод с контроллером горячего резервирования + MOSFET и полностью интегрированное решение.



Любые электронные системы часто подвергаются воздействию жёстких внешних условий и опасных факторов, таких как электростатические разряды (ЭСР), быстрые переходные процессы в электроцепях (ЭБПП) и грозовые перенапряжения. Защита цепей должна быть приоритетной задачей для проектировщиков силового оборудования, чтобы предотвратить отказ системы, что особенно важно для промышленных применений с шиной питания 24 В.

Схемы защиты цепей питания способны защитить как источник питания, так и всю систему от таких явлений, как перегрузка по току, короткое замыкание, бросок пускового тока на входе, перенапряжение, обратная полярность на входе (обычно вызываемая неправильным монтажом) и обратный ток.

Реализация на дискретных элементах

Схемы на дискретных элементах являются наиболее традиционным способом защиты силового тракта (рисунок 1).

В такой реализации для защиты системы от обратной полярности (неправильного монтажа) и обратного тока используется включённый последовательно мощный диод. Если цепь потребляет ток величиной 2 А, она рассеивает ~1 Вт мощности на диоде, в результате чего повышается температура платы. Резонансный контур (L-C) осуществляет фильтрацию, а несколько TVS-диодов подавляют переходные процессы во входной цепи во время испытания импульсными напряжениями (Международная электротехническая комиссия (МЭК) 61000-4-5).

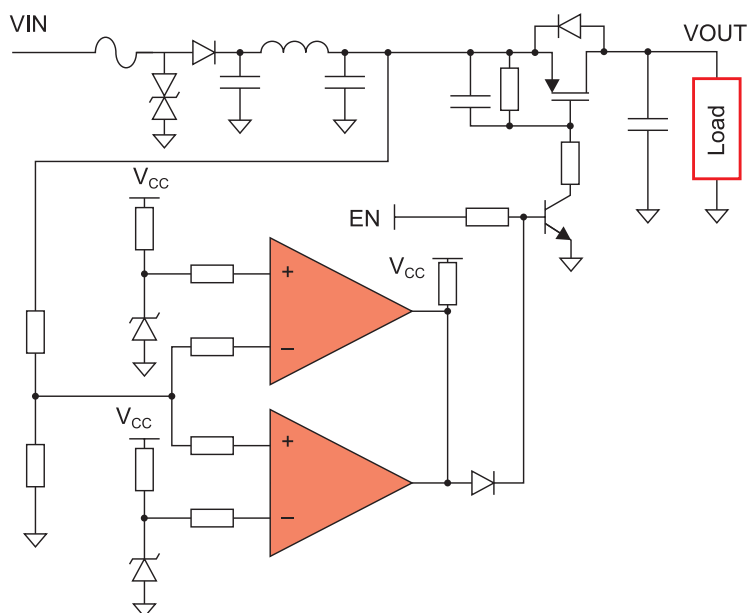


Рисунок 1. Схема защиты на дискретных элементах

В данной реализации для выполнения требований по защите используется PFET-транзистор (ключ верхнего плеча) вместе с биполярным транзистором BJT, операционные усилители, зенеровские диоды, резисторы и конденсаторы. Это системное решение весьма громоздкое и отличается довольно обширным перечнем материалов (ПМ). Кроме того, данная реализация не решает вопроса тепловой защиты и дрейфа точности ограничения тока при изменениях температуры.

Схема на дискретных элементах обеспечивает защиту от коротких замыканий с помощью традиционного плавкого предохранителя. Во время короткого замыкания предохранителю для перегорания требуется от нескольких миллисекунд до нескольких секунд, что может вызвать повреждение нагрузки.

Метод с контроллером горячего резервирования

Другим распространённым подходом (рисунок 2) к защите по питанию является метод с контроллером горячей замены и контроллером «идеального диода» на базе MOSFET. В этой схеме для придания ей большей эффективности и надёжности используются внешние полевые транзисторы (FET). К сожалению, в этой реализации остаются такие проблемы, как необходимость управления внешними полевыми транзисторами, наличие внешнего измерительного сопротивления и необходимость дополнительной цепи защиты от обратной полярности на входе. В этой реализации осуществляется попытка организовать тепловую защиту и защиту зоны надёжной работы (SOA) на базе архитектуры с внешними полевыми транзисторами. Несмотря на то, что это решение лучше дискретной реализации, оно не всегда подходит для ограниченных по пространству систем, таких как модули ввода/вывода (I/O).

Интегрированная реализация (eFuse)

А теперь представьте, что вся ваша дискретная реализация сворачивается

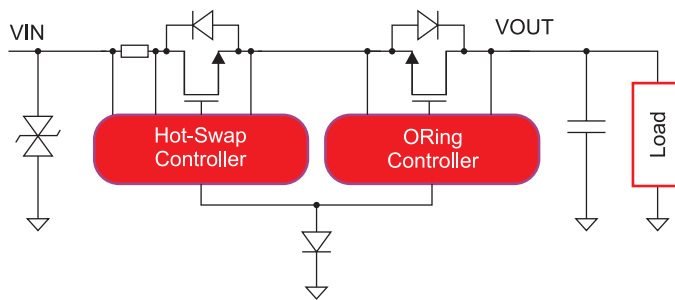


Рисунок 2. Схема защиты с контроллером + MOSFET

в одно интегрированное устройство, за исключением нескольких компонентов, таких как диоды подавления переходных процессов (TVS), и нескольких резисторов и конденсаторов, как показано на рисунке 3. Это было бы отлично, не правда ли? Предохранитель eFuse эффективно объединяет в одном устройстве все упомянутые выше функции защиты, минимизируя тем самым трудоёмкость проектирования. Предохранители eFuse, помимо защиты силовых цепей, также обеспечивают выполнение таких функций, как мониторинг напряжения и тока и индикация отказов для системной диагностики.

Обеспечение зоны надёжной работы (SOA) полевых транзисторов (FET) и надёжная тепловая защита гарантируют безотказную работу eFuse, а также защиту нагрузки в жёстких условиях. Такие предохранители также пригодны для применений в условиях ограниченного пространства, поскольку помогают сократить размеры системного решения больше чем наполовину.

Одним из примеров таких решений является микросхема TPS2660, первый в отрасли интегрированный электронный предохранитель eFuse на 60 В со встречным включением полевых транзисторов. Это устройство определённо стоит рассмотреть в качестве варианта для ваших новых проектов, поскольку оно поддерживает защиту от пускового тока, перегрузки по току, короткого замыкания,

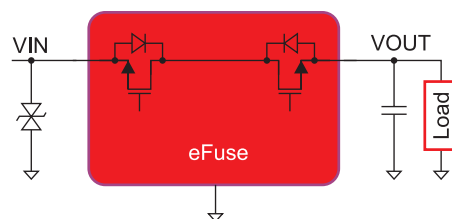


Рисунок 3. Схема интегрированной защиты

обратной полярности на входе (неправильного монтажа), перенапряжения и недостаточного входного напряжения. TPS2660 также обеспечивает мониторинг тока и индикацию отказов для целей системной диагностики. Интегрированная архитектура на 60 В со встречным включением полевых транзисторов позволяет вам проектировать надёжные схемы и защитить нагрузки в таких стандартных для отрасли тестах, как броски (МЭК 61000-4-5), EFT (быстрые переходные процессы) (МЭК 61000-4-4) и просадки напряжения, а также испытания прерываниями подачи питания в соответствии со стандартом МЭК 61131-2.

Надёжная и эффективная схема защиты источника питания чрезвычайно важна для проектирования электронных систем. Используя интегрированные устройства защиты, проектировщики смогут создавать свои системы с большей лёгкостью и эффективностью, а также будут быстрее выводить их на рынок. Если у вас есть проект, в котором используется защита силового тракта для шины питания 24 В, будьте на шаг впереди и начните уже сегодня проектирование с использованием типового проекта Input Protection and Backup Supply Reference Design for a 25W PLC Controller Unit (защита входов питания и резервирование источника питания для 25-Вт блока питания ПЛК).

Дополнительные источники

Для получения более подробных сведений о том, как TPS2660 помогает во время прохождения стандартных для отрасли испытаний:

- Смотрите руководство по применению "The TPS2660 Simplifies Surge and Power-Fail Protection Circuits in PLC Systems."

Кайл Ван Рентерхем (Kyle Van Renterghem)

Как измерить уровень шума LDO-регулятора

Поскольку измерение уровня шума является достаточно сложной задачей, перед выполнением измерений следует тщательно настроить конфигурацию анализатора и оборудование.

Регуляторы с низким падением напряжения (LDO) используются для преобразования высокого входного напряжения в более низкое выходное. В отличие от импульсных регуляторов, LDO просты в использовании и не создают сильного коммутационного шума. Во многих системах применяются оба прибора – импульсный регулятор преобразует один уровень напряжения в другой, а LDO фильтрует и очищает преобразованное напряжение, которое затем подаётся на устройства-потребители.

Аппаратный шум – это физическое явление, обусловленное наличием в схеме резисторов и транзисторов. Основным генератором шума в LDO является ИОН – источник опорного напряжения (bandgap) [1]. Именно поэтому в маломушмящих LDO имеется вывод шумоподавления, позволяющий отфильтровывать создаваемый этим источником шум с помощью внешнего конденсатора, нередко называемого конденсатором снижения шума. Пользователь обязан подключить к упомянутому выводу конденсатор. Сочетание этого конденсатора с высокоомным внутренним резистором создаёт низкочастотный фильтр. Помимо уменьшения шума ИОН, конденсатор также замедляет нарастание напряжения ИОН (и, как следствие, выходного напряжения) при запуске устройства.

Входное напряжение, выходной конденсатор и ток нагрузки не оказывают существенного влияния на конечный уровень шумов LDO. Уменьшить уро-

вень шума можно, подключив конденсатор от выхода LDO к цепи обратной связи (при условии, что устройство не используется в схеме единичного усиления) [2]. Такой конденсатор называют конденсатором прямой связи (CFF). На высоких частотах этот конденсатор фактически работает в режиме короткого замыкания, уменьшая уровень усиления LDO и предотвращая усиление высокочастотного шума усилителем ошибки. Как и конденсатор снижения шума, CFF увеличивает время запуска устройства.

В перечнях технических данных шумовые характеристики зачастую отображаются двумя различными способами:

1. Графиком спектральной плотности шумов (в мкВ/√Гц) в зависимости от частоты.
2. Отдельной строкой в таблице электрических характеристик, указывающей среднеквадратичное (RMS) значение напряжения шумов в милливольтках.

Среднеквадратичное напряжение шумов равно спектральной плотности шума, интегрированной по определённому диапазону частот (обычно 10 Гц – 100 кГц или 100 Гц – 100 кГц).

Такой подход позволяет быстро сравнить шумовые характеристики различных LDO при условии, что диапазон частот соответствует вашему случаю. В большинстве перечней технических характеристик среднеквадратичное значение шума указывается для LDO в схеме единичного усиления, поскольку шум на выходе, как правило, пропорционален усилению. Поэтому если вы знаете среднеквадратичное напряжение шумов для схемы единичного усиления и собственно значение усиления, необходимое для получения требуемого выходного напряжения, то сможете легко рассчитать среднеквадратичную величину напряжения шумов. Сравнение характеристик LDO в части среднеквадратичной величины шумов следует проводить для фактического уровня выходного напряжения, которое планируется использовать в системе.

Блок-схема измерения шумов

Блок-схема на рисунке 1 отображает конфигурацию оборудования для измерения шумов, которую мы подробно обсудим ниже. Источник питания подаёт энергию на модуль оценки (EVM), представляющий собой печатную плату (PCB), на которой размещён LDO.

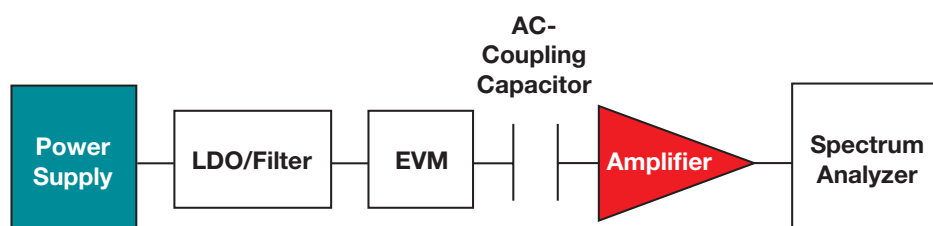


Рисунок 1. Блок-схема конфигурации оборудования для измерения шумов

Далее следует собственно LDO или опциональный фильтр, устанавливаемый перед LDO. Этот фильтр уменьшает уровень шума от источника питания. Конденсатор связи по переменному току позволяет передавать в последующую часть схемы только сигнал переменного тока. Дополнительный усилитель позволяет облегчить измерение сигнала анализатором спектра. Усилитель необходим только в том случае, если пороговый уровень собственного шума анализатора (то есть шум, измеренный без подключения EVM), слишком велик относительно уровня выходного шума LDO.

Убедитесь в том, что разрешение по полосе пропускания (RBW), задаваемое шириной полосового фильтра анализатора спектра, как минимум на декаду меньше измеряемой частоты. Чем меньше RBW, тем большее разрешение будет иметь отображение конкретной частоты. Однако при уменьшении RBW также возрастает и время выполнения измерений. Многие анализаторы снабжены автоматической функцией, увеличивающей RBW по мере возрастания частоты, дабы уменьшить общую продолжительность измерений. Для более эффективной работы этой функции, возможно, потребуется задать минимальное или максимальное значение RBW. Полоса частот видеосигнала (VBW) задаёт величину сглаживания на экране. Как правило, она устанавливается равной RBW.

Наконец, поскольку мы измеряем шум, величина которого меняется в зависимости от некоторых характеристик самого шума, необходимо использовать встроенную в анализатор функцию усреднения, которая выполняет несколько измерений в каждой точке и вычисляет средний результат. Обратите внимание – это не скользящее среднее, при котором выполняется усреднение значений в смежных точках, а среднее значение по нескольким измерениям на каждой из частот. Обычно мы устанавливаем значение усреднения в промежутке от 25 до 50.

Пороговый уровень шумов

Всё измерительное оборудование имеет конечное разрешение. Это ограничение для анализатора спек-

тра зачастую называют пороговым уровнем шумов. Сигналы, величина которых меньше этого уровня, анализатором не распознаются. Если величина шума LDO близка к пороговому уровню анализатора, то необходимо усилить выходные значения LDO, дабы корректно измерить выходной шум устройства. Помните, что плотность шума при нескольких источниках последнего рассчитывается как квадратный корень из суммы квадратов источников шумов (1):

$$\begin{aligned} \text{Плотность шума} &= \\ &= \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

При измерении шумов необходимо учитывать и другие источники шума, включая собственный шум анализатора спектра, а также внешние шумы, присутствующие в лаборатории. Однако можно объединить все эти источники, получив в итоге эффективный пороговый уровень шума (NNF). Это минимальный уровень шума, который можно измерить на вашем оборудовании в вашей лаборатории.

Чтобы рассчитать пороговый уровень шума для проводимого измерения, постарайтесь как можно точнее отразить фактическую схему оборудования, без учёта тестируемого устройства. После того как пороговый уровень шума для оборудования рассчитан, сравните полученное значение с расчётным уровнем шума тестируемого устройства (NDUT), дабы удостовериться в том, что его можно измерить корректно. Общее правило заключается в следующем: плотность шума проверяемого устройства должна превышать пороговый уровень шума для испытательного оборудования в десять раз. При этом влияние порога на результат измерений составит приблизительно 0,5%. Уравнения 2 и 3 используются для определения процента погрешности из-за порогового уровня шумов. Таким образом, вы можете рассчитать приемлемый вариант для ваших условий.

$$\text{Если } N_{OUT} = x \times N_{NF}, \quad (2)$$

где N_{OUT} – плотность шума LDO, N_{NF} – пороговый уровень шума, $x = N_{OUT}/N_{NF}$

Процент погрешности из-за порогового уровня шумов =

$$= \left(\frac{\sqrt{x^2 + 1}}{x} - 1 \right) \times 100\%. \quad (3)$$

Усилитель

Если пороговый уровень шума анализатора спектра слишком высок и приводит к неприемлемой величине погрешности, можно:

- приобрести анализатор спектра с более высокими характеристиками или
- приобрести малошумный высокоскоростной усилитель и создать с его помощью неинвертирующую схему усиления. Реализация второго варианта может занять больше времени. Необходимо также выбрать подходящий операционный усилитель, сконструировать печатную плату, изготовить и собрать её. Однако данный вариант будет существенно дешевле покупки испытательного оборудования с высокими характеристиками.

Если вы решили использовать усилитель – убедитесь в том, что величина произведения коэффициента усиления на полосу пропускания (GBP) соответствует вашим потребностям. В идеале коэффициент усиления должен быть равномерным по всему диапазону частот, в котором вы планируете измерять уровень выходного шума. К примеру, если вам необходим коэффициент усиления в 40 дБ (100 В/В) для достаточного превышения порогового уровня шума анализатора, а верхняя граница диапазона частот составляет 10 МГц, то GBP операционного усилителя должно быть не меньше 1 ГГц. Если у вас есть возможность получить такой усилитель, то можно просто разделить полученные результаты на коэффициент его усиления. С другой стороны, если ваш усилитель демонстрирует спад на высоких частотах, то можно измерить его коэффициент усиления на каждой частоте и затем разделить результаты измерений в каждой точке на коэффициент усиления для соответствующей частоты.

Входной шум операционного усилителя должен быть как можно меньше, поскольку он усиливается за счёт

усиления самой цепи. Не позволяйте собственному шуму усилителя создавать помехи для сигнала LDO, иначе усилитель будет бесполезен. Ещё одним источником шумов являются резисторы, используемые для установки коэффициента усиления инвертирующего усилителя. Резисторы создают термический шум, пропорциональный квадратному корню их сопротивления. Поэтому следует выбирать минимальные значения сопротивления, при которых не произойдёт перегрузки усилителя. Учтите также, что усилитель должен также обеспечивать работу на входное сопротивление анализатора спектра.

Конденсатор связи по переменному току

Большинство анализаторов спектра снабжены 50-Ом входными клеммами и не рассчитаны на большие токи. Чтобы предотвратить их повреждение, необходимо повысить сопротивление входных цепей. Некоторые производители предлагают активные зонды с высоким полным сопротивлением. Однако они вносят в измерения свой собственный шум, поскольку являются активными компонентами. Более удобным способом создания входа с высоким полным сопротивлением является использование конденсатора связи по переменному току. Обычно конденсаторы используются в шунтирующих конфигурациях – одна клемма подключена к нужному сигналу, а другая – к заземлению. Если рассматривать в такой конфигурации идеальный конденсатор с бесконечной ёмкостью, то сигнал постоянного тока будет проходить дальше по цепи, а сигнал переменного тока будет замкнут на землю. Однако если подключить одну клемму конденсатора к выходу LDO, а другую – к месту выполнения измерений, то конденсатор будет блокировать сигнал постоянного тока, пропуская сигнал переменного тока. Отсюда и название конденсатора. В нашем случае постоянный ток – это номинальное выходное напряжение, а переменный ток – это сигнал напряжения шумов, который мы и хотим измерить.

Поскольку конденсатор связи по переменному току имеет конечную

ёмкость, то создаётся высокочастотный фильтр, который глушит сигналы ниже своей частоты отсечки (f_c).

Частота отсечки обратно пропорциональна произведению ёмкости конденсатора связи и сопротивления входной клеммы анализатора спектра. Поскольку сопротивление анализатора является фиксированным значением, обычно 50 Ом, то ёмкость конденсатора связи задаёт минимальную измеряемую частоту. Уравнение 4 можно использовать для расчёта ёмкости конденсатора связи по переменному току:

$$C_{AC} = \frac{1}{2\pi R_{IN} f_c} \quad (4)$$

Поскольку частота отсечки представляет собой точку, в которой фильтр уже глушит сигнал на 3 дБ, выберите частоту отсечки, которая будет приблизительно на порядок меньше минимальной измеряемой частоты. Например, если вы хотите точно измерить шум с минимальной частотой до 10 Гц с помощью анализатора с сопротивлением 50 Ом на входных клеммах, то вам потребуется конденсатор ёмкостью приблизительно 3 мФ. Не забудьте учесть погрешности конденсатора, его номинальное напряжение, а также ухудшение параметров из-за температуры, если испытания проводятся при температуре окружающей среды, отличной от комнатной. На рисунке 2 показан один из первых наших конденсаторов связи по переменному току, предназначенный для измерений с минимальной частотой до 10 Гц. В данном случае мы просто спаяли несколько конденсаторов параллельно на прототипе печатной платы и припаяли по проводу с двух сто-

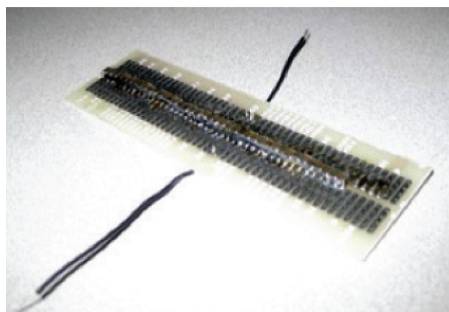


Рисунок 2. Первый неэкранированный конденсатор связи переменного тока на 4000 мкФ для измерений шума

рон. Такой вариант работоспособен при измерении малошумящих LDO. Однако шум окружающей среды уже представляет для него проблему.

Рисунок 3 демонстрирует более поздний вариант конденсатора связи по переменному току, уже экранированный от шумов окружающей среды и снабжённый субминиатюрными разъёмами версии А (SMA), дабы обеспечить возможность применения экранированных кабелей во всех соединениях. Это позволило уменьшить степень влияния шумов, источником которых не являлось тестируемое устройство.

Источники питания

Ещё один путь проникновения паразитных шумов в результаты измерений – через источник питания. Это может быть источник питания как самого LDO, так и любого из усилителей, используемых для повышения выходных характеристик регулятора. По возможности запитывайте LDO и цепи усиления от аккумуляторов. Однако для LDO с высокими токовыми характеристиками это может быть проблематично. Возможно, потребуется снизить напряжение аккумулятора до необходимого для измерений уровня напряжения питания. Настольные источники питания удобны в том смысле, что их выходные характеристики легко настраиваются и заряд у них никогда не заканчивается. Тем не менее они, как правило, довольно шумны.

Выходные параметры большинства настольных источников имеют большие всплески спектральной плотности шумов на частоте сети (как правило, 50 или 60 Гц) и частоте комму-



Рисунок 3. Экранированный конденсатор на 5100 мкФ для измерения шумов низкого уровня

тации внутреннего преобразователя. Некоторые настольные источники питания являются линейными, но большая часть содержит импульсные преобразователи. Поэтому их не следует использовать без подавления дополнительных всплесков шума на частоте коммутации и её гармониках.

Уменьшить шум источника питания можно двумя способами. Первый состоит в использовании принудительной пассивной фильтрации – низкочастотного фильтра с П-образными звеньями, с частотой отсечки ниже частоты сети. Такой фильтр будет очень большим по размерам из-за дросселей и конденсаторов большой ёмкости. Второй вариант заключается в применении малощумящего LDO с высоким уровнем подавления пульсаций питания (PSRR) в качестве фильтра. Это гораздо более миниатюрное и недорогое решение. Но учтите, что многие LDO не обладают высоким значением PSRR на высоких частотах, на которых как раз и работает большинство импульсных регуляторов [3]. Для фильтрации высокочастотных коммутационных шумов хорошим выбором будет линейка устройств TPS7A47xx, обладающих низким уровнем шума на выходе и широкополосным PSRR. Если подходящий LDO найти не удаётся, то для фильтрации коммутационных шумов можно использовать небольшой индуктивно-ёмкостный фильтр.

Экранирование

Неэкранированные цепи не могут быть защищены от шумов окружающей среды. Означенные шумы могут возникать в различных точках испытательной схемы. Одним из наиболее вероятных вариантов являются используемые для измерений кабели. Кабели, подключённые к положительным и отрицательным клеммам любого источника или измерительной линии, создают большие индуктивные контуры и поэтому очень чувствительны к шумам. Магнитные поля, присутствующие в измерительной среде, могут создавать в этих контурах нежелательные высокочастотные токи. Для сведения этих наведённых токов и связанных с ними шумов к минимуму исполь-

зуйте экранированные кабели с разъёмами BNC или SMA везде, где только возможно.

Если экранированные кабели по каким-либо причинам использовать невозможно, то сведите промежутки между проводами к минимуму и скрутите положительные и отрицательные провода между собой, чтобы максимально уменьшить создаваемый ими индуктивный контур. Ещё один хороший вариант – поместить испытываемое устройство и любые другие платы в заземлённый металлический ящик. Этот ящик будет играть роль экрана для плат, используемых при измерении, почти как экранирование кабеля глушит шумы, воспринимаемые его жилами. На рисунке 4 приведён пример испытательной схемы в экранирующем ящике (с открытым верхом). Обратите внимание на то, что низ ящика покрыт пеной для предотвращения коротких замыканий на корпус.

Нагрузка LDO

Последним источником шумов, который следует рассмотреть, является нагрузка. В большинстве случаев автоматического тестирования используются электронные нагрузки, поскольку их легко настроить на любое значение. Однако при измерении шумов всегда необходима резистив-

ная нагрузка. Электронные нагрузки генерируют собственный шум из-за имеющихся в них активных цепей. Соответственно, они оказывают негативное влияние на точность измерений.

Что делать со всеми этими данными?

Большинство анализаторов спектра записывают результаты измерений шума в дБмкВ/√Гц. Вам потребуется преобразовать эти значения в мкВ/√Гц. При использовании усилителя разделите эти значения на коэффициент усиления в В/В. После выполнения данной задачи для всех точек измерения можно сопоставить полученные данные с частотой, создав таким образом график спектральной плотности шумов, имеющийся в перечнях технических характеристик многих LDO. Уравнение 5 показывает, как выполнять преобразование из дБмкВ/√Гц в мкВ/√Гц.

$$\frac{\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} = 10^{\left(\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}} / 20 \right)} \quad (5)$$

Получив значение спектральной плотности шумов в мкВ/√Гц, можно рассчитать среднеквадратичную величину шума, вычитав площадь

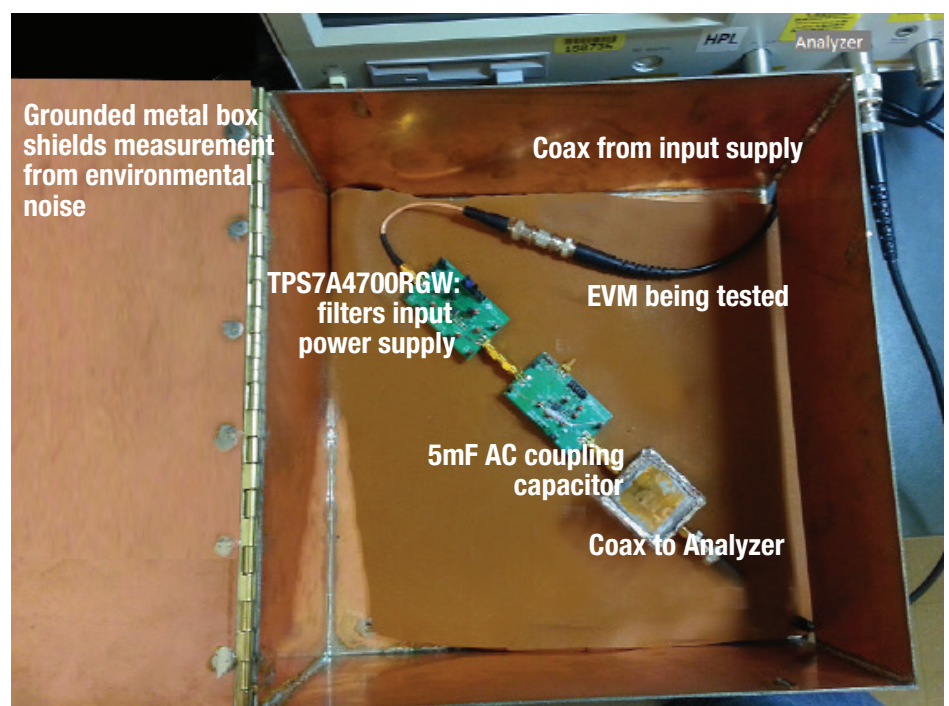


Рисунок 4. Испытательная схема в экранированном ящике

графика по соответствующей полосе пропускания (в промышленности используются стандартные величины 10 Гц – 100 кГц и 100 Гц – 100 кГц). Для этого проинтегрируйте величину шума по выбранной полосе пропускания. Если ваши данные хранятся в Microsoft Excel и переведены в мкВ/√Гц, то можно графически интегрировать данные следующим образом: усредните значения двух соседних точек, возведите полученное число в квадрат и затем разделите результат на разность частот между этими точками. Повторите эту процедуру для всех точек в нужном диапазоне частот, сложите полученные результаты, затем извлеките из этой суммы квадратный корень. Уравнение 6 представляет вышеперечисленные действия в терминах математики:

Среднеквадратичная величина шума =

$$= \sqrt{\sum \frac{(N_{n-1} + N_n)^2}{f_n - f_{(n-1)}}}, \quad (6)$$

где N_n – спектральный шум в $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ и f_n – частота.

Измерение шума системы

Чтобы измерить шум, который будет возникать в системе из-за источника питания, LDO необходимо запитать от цепи, используемой в реальном устройстве. При этом

будет получен уровень шума, видимый расположенным далее компонентом. Фактически этот уровень представляет собой комбинацию внутреннего шума LDO плюс шум его источника питания, приглушаемый PSRR самого источника. Поэтому если LDO планируется запитать от импульсного регулятора, то для измерения шума лучше всего использовать тот же самый регулятор. Вместо переключателя и LDO можно использовать два отдельных EVM, соединённых кабелями, но, в идеале, данное измерение лучше всего проводить на конечном варианте платы или на максимально близком к таковому. Это позволит получить более точную картину шумов, видимую устройством нагрузки на входе, так как высокочастотный шум легко может просочиться через различные паразитные пути в слой земли, слой питания или в оба сразу. Разместите измерительное соединение как можно ближе к устройству нагрузки – такой вариант даст более точную картину шумов. Если используемая плата не имеет разъёма SMA или BNC на выходе, можно припаять разъём SMA к клеммам либо входного конденсатора устройства нагрузки, либо выходного конденсатора LDO. Учтите, что реализация этого варианта представляет некоторую трудность. Будьте аккуратны с проводами, поскольку они дают механический вращающий момент, достаточный для того, чтобы оторвать конденсатор от платы (возможно, вместе с дорожкой).

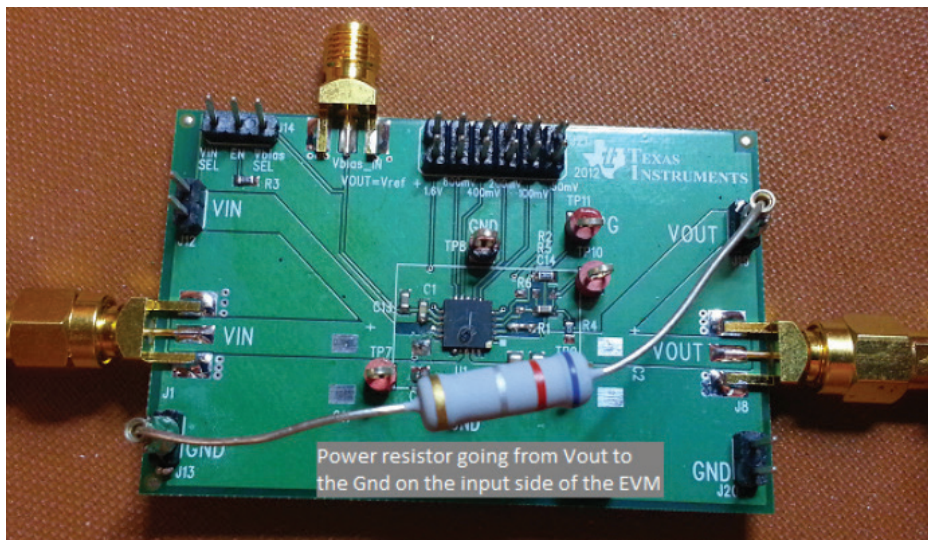


Рисунок 5. Заземление нагрузочного резистора около входа питания

Предпроизводственное измерение шумов

Для сравнения различных LDO без установки их на плату можно использовать оценочные модули. Возможно, что EVM будет давать несколько отличные от производимой вами платы результаты, в силу разности паразитных связей, обусловленной различным расположением компонентом и их разводкой. Для тестирования LDO на EVM используйте резистивную нагрузку, а не электронную, дабы уменьшить влияние собственных шумов нагрузки. Заземлите нагрузочный резистор как можно ближе к отрицательной клемме входа источника питания, дабы избежать излишних шумов в «земляном» слое платы. Большие токи заземления в этом сравнительно небольшом слое EVM могут повлиять на результат измерения. Смотрите пример на рисунке 5.

По возможности используйте экранированные соединения, дабы ограничить размер индуктивных контуров. Если плата EVM не снабжена выходными разъёмами SMA или BNC, попробуйте припаять разъём SMA к клеммам выходного конденсатора LDO. Как уже говорилось, это довольно непросто, и результирующая схема будет хрупкой.

Указания по быстрой настройке

1. Подготовьте LDO и плату к испытаниям.
2. Подключите необходимую резистивную нагрузку к V_{OUT} . Желательно заземлить нагрузку как можно ближе к входу питания.
3. Поместите EVM в металлический (или с металлическим покрытием) ящик и заземлите ящик возле входа питания для экранирования от шумов окружающей среды.
4. Подключите необходимые V_{IN} , V_{OUT} , V_{enable} и т. д. с помощью экранированных коаксиальных кабелей.
5. Подключите один вывод конденсатора связи по переменному току к выходу EVM. Подключите

второй вывод конденсатора к используемому анализатору.
6. Запустите процедуру измерения.

Дополнительные указания

- Убедитесь в том, что пороговый уровень шумов измерительного оборудования меньше такового для LDO:
 - если пороговый уровень шумов оборудования больше или близок к соответствующей величине LDO – используйте малошумящий операционный усилитель;
 - применяйте для регулировки усиления резисторы небольшого номинала, чтобы уменьшить их «вклад» в уровень шума;

- убедитесь в том, что коэффициент усиления равномерен по всему диапазону частот, в котором планируется проводить измерения:
 - если усиление неравномерно – либо уменьшите его коэффициент, либо учитывайте спад усиления на этапе преобразования результатов,
 - результирующие данные шумов в мкВ/Гц необходимо разделить на коэффициент усиления в В/В.
- Конденсатор связи должен иметь достаточно большую ёмкость (3–10 мФ для измерения частоты 10 Гц) для точной регистрации низкочастотных шумов.
- Чтобы уменьшить влияние шумов окружающей среды, сведите к ми-

нимуму длину всех соединений и проводов и/или используйте экранированные кабели.

Литература

1. John C. Teel. Understanding Noise in Linear Regulators, Texas Instruments Analog Applications Journal (slyt201), 2Q 2005
2. Masashi Nogawa. LDO Noise Examined in Detail, Texas Instruments Analog Applications Journal (slyt489), 4Q 2012
3. Masashi Nogawa and Kyle Van Renterghem. Wide Bandwidth PSRR of LDOs, Bodo's Power Systems, pp. 46–49, Mar 2011
4. Product Folders: TPS7A47, TPS7A35, TPS7A83 SLYY076

INA260 – монитор напряжения/тока/мощности со встроенным шунтом для цепей постоянного тока

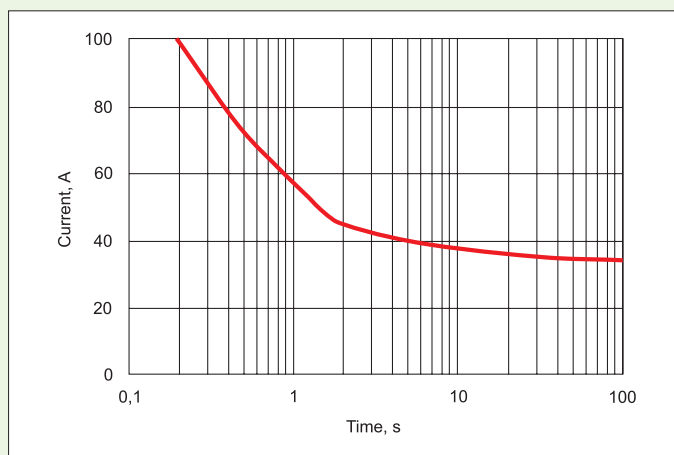
Микросхема INA260 представляет собой комбинированное изделие, включающее в себя токовый шунт на ток до 15 А, входной коммутатор, АЦП, набор регистров данных/управления и схемы I²C-интерфейса.

Микросхема предназначена для измерения напряжения на шине питания (V_{bus}) и тока в нагрузке, а также для вычисления потребляемой нагрузкой мощности.

Основные характеристики:

- Напряжение питания от 2,7 до 5,5 В.
- Измеряемое напряжение до 36 В.
- Измеряемый ток до 15 А.
- Встроенный шунт 2 мОм, 0,1%.
- Интерфейс I²C с возможностью конфигурирования до 16 адресов.
- Корпус TSSOP-16.
- Наличие выхода ALERT, активность которого может быть запрограммирована пользователем на одно из следующих событий: достижение верхней или нижней границы тока шунта; достижение верхней или нижней границы контролируемого напряжения; перегрузка по мощности.
- Диапазон рабочих температур от –40 до +125 °С.

Микросхема INA260 способна выдерживать достаточно длительные перегрузки по току, как показано на рисунке.



INA260 предназначена для применения в изделиях, где требуется непрерывный контроль режимов энергопотребления. Это источники питания, зарядные устройства, серверное и телекоммуникационное оборудование и т. п.

www.ti.com/product/INA260

Техническое руководство по Li-SOCl₂ (литий-тионилхлоридным) источникам тока

Окончание. Начало в №№1 и 2-2017 бюллетеня «Компоненты Т1»



Руководство по выбору и применению элементов питания

Области применения

Типичные варианты применения

Литиевые элементы питания XenoEnergy обладают превосходными характеристиками, поэтому их можно использовать в различных областях. В частности, они хорошо подходят для применения там, где используются небольшие базовые токи и периодические умеренные импульсные токи. Они также обеспечивают надёжную работу в системах непрерывного резервного питания запоминающих устройств и в часах реального времени.

Далее приведём некоторые из типичных вариантов применения литиевых элементов питания XenoEnergy:

Приборы учёта потребления. Электрические счётчики, калориметры, газовые счётчики, счётчики воды, расходомеры и различные

системы автоматического снятия показаний счётчиков (AMR).

Системы безопасности. Датчики движения, беспроводные пассивные инфракрасные (PIR) датчики, дверные/оконные датчики, датчики тревожной сигнализации, звуковые датчики, вибродатчики, беспроводные дымовые извещатели, системы перемещения наличных денег и пульта управления системами безопасности.

Резервирование запоминающих устройств и часы реального времени (RTC). Персональные компьютеры, торговые автоматы, рисоварки, цифровые телевизионные приставки, звуковая аппаратура, видеоаппаратура, игры, игровые автоматы, банкоматы, контрольно-кассовые аппараты и переносные банкоматы.

Устройства пропуска для проезда по платным дорогам и устройства радиочастотной идентификации (RFID). Активные радиочастотные метки для оплаты проезда по платным дорогам, системы поиска

в реальном времени, регистраторы данных, системы идентификации, системы управления больничным хозяйством, системы управления складами, образовательные системы, системы доения.

Автомобильное оборудование.

Системы контроля давления в шинах, оборудование GPS, датчики подушек безопасности, автомобильные радиосистемы и системы управления дорожным движением, тахометры.

Системы отслеживания. Системы отслеживания перемещения людей, животных, отслеживания перемещения грузового транспорта и контейнеров, системы отслеживания в энергетике и навигационные системы.

Передача данных (на основе малогабаритных блоков). Беспроводные системы кассовых терминалов, беспроводная перьевая мышь, оборудование сбора данных, ПЛК и УАТС.

Морское оборудование. Глубиномеры для занятий дайвингом, буи, маяки, морские измерительные устройства, морские платформы и различное океанографическое оборудование.

Военная техника. Радиочастотное оборудование, устройства наведения, системы ночного видения, минные и гидроакустические буи.

Другие малогабаритные измерительные приборы. Счётчики времени стоянки, ЖК-панели, промышленные часы, регуляторы температуры, дата-логгеры, обёрточные машины, медицинское оборудование, железнодорожные контроллеры, ошейники для животных, измерительные и счётные устройства.

Таблица 2. Указания по применению

Области применения	XL-050F	XL-055F	XL-060F	XL-100F	XL-145F	XL-205F	Плоский элемент питания XL-210F
Приборы учёта потребления	•	•	•	•	•	•	•
Системы безопасности	•	•	•	•	•	•	•
Резервирование запоминающих устройств	•	•	•	•	•	•	•
Часы реального времени	•	•	•				
Устройства пропуска для проезда по платным дорогам и устройства радиочастотной идентификации (RFID)	•	•	•	•			•
Автомобильное оборудование	•	•	•	•	•	•	•
Системы отслеживания		•	•	•	•	•	•
Обмен информацией		•	•	•	•	•	•
Морское оборудование	•	•	•	•	•	•	
Военная техника	•	•	•	•	•	•	
Прочее	•	•	•	•	•	•	•

Указания по применению

Указания по применению содержатся в таблице 2 и имеют в своей основе тенденции, наблюдающиеся на рынке. Они предназначены для того, чтобы дать потребителям некоторые параметры, которыми можно воспользоваться, чтобы выбрать наиболее подходящие им модели. Но вы также можете использовать и другие возможные модели, если необходимы большие или меньшие токи и ёмкости.

Основы выбора элементов питания

Процесс выбора элемента питания может начинаться с началом разработки нового оборудования или замены имеющейся системы питания. Каталог продукции и технические указания XenoEnergy вместе с другими данными, имеющими отношение к элементам питания, могут помочь потребителям выбрать наиболее эффективные элементы питания для их систем. Однако у каждого поставщика имеются похожие типы элементов питания, в то же время их химические характеристики слегка отличаются. Кроме того, у каждого потребителя свои условия эксплуатации оборудования. Поэтому для помощи в разработке конструкций и решений, отвечающих конкретным потребностям, и для создания новых или замены существующих специализированных решений важно иметь следующую информацию.

Описание проекта. Название проекта, название заказчика, область применения и сфера действия проекта.

Требования по конструкции. Тип элемента питания, пространственные

ограничения для конструкции элемента питания, если это необходимо, требуемые рабочие характеристики, тип клемм, данные о проводке и разъёмах (с подробным указанием длины и толщины проводов, номера деталей корпуса и контактов разъёма на чертеже изготовителя) и другие особые требования к конструкции.

Электрические характеристики. Напряжение – рабочее напряжение, напряжение отсечки (линия для запоминающего устройства). Профиль тока – базовый ток, каждые импульсы в формате ток/длительность/периодичность.

Условия применения. Температура хранения, рабочая температура, график температуры (распределение по диапазону температур).

Укажите другие условия, если они есть. Другие условия, которые могут повлиять на характеристики элемента питания и его срок службы (поддержка в виде конденсатора, соединение нескольких элементов питания, ударные нагрузки и вибрация).

Расчёт срока службы. По такому запросу компания XenoEnergy поможет вам выбрать элемент питания или батарею элементов питания и рассчитать срок службы. В компактном виде такой запрос можно оформить в односторонней анкете «Lithium Battery Questionnaires», которую можно взять на сайте XenoEnergy или его дистрибьютора. Она предназначена для того, чтобы заказчики эффективно проанализировали условия эксплуатации своего оборудования и XenoEnergy смогла предложить оптимальный тип элемента питания с требуемым сроком службы.

Проектирование схем элементов питания

Схема цепи для резервного питания запоминающего устройства

Литиевые элементы питания производства XenoEnergy признаны и аттестованы UL, номер файла аттестации MH28122. Underwriter's Laboratories (UL) рекомендует следующие требования к электрической схеме для использования литиевых элементов питания XenoEnergy.

Литиевые элементы питания XenoEnergy не должны подключаться последовательно к источнику электропитания, который увеличивает ток прямого направления через эти элементы питания. На рисунке 12 изображена общая рекомендуемая схема для резервного питания запоминающего устройства с использованием литиевых элементов питания XenoEnergy.

Электрическая цепь для этих элементов питания должна включать в себя один из следующих элементов:

1. Два подходящих диода или эквивалентных элемента, подклю-

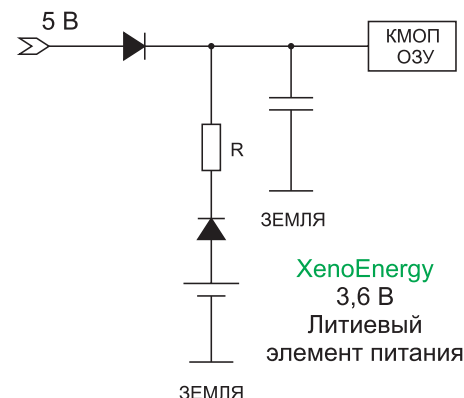


Рисунок 12. Общая схема для резервного питания запоминающего устройства

Таблица 3. Значения

Модель	Максимальное значение тока
XL-050F, XLP-050F, XL-050H	20 мА
XL-055F, XLP-055F	20 мА
XL-060F, XLP-060F, XL-060H	35 мА
XL-100F	40 мА
XL-145F	100 мА
XL-205F	120 мА
XL-210F	20 мА

чаемые последовательно с этими элементами питания для предотвращения всякого обратного тока (тока зарядки). Второй диод используется для обеспечения защиты в случае выхода из строя первого. Изготовитель устройства должен внедрить контроль качества или аналогичную процедуру, чтобы гарантировать правильность подключения полярности диодов в каждом блоке.

2. Блокирующий диод или эквивалентный элемент для предотвращения всякого обратного тока (тока зарядки) и резистор для ограничения тока в случае отказа диода. Номинал резистора должен быть выбран таким образом, чтобы он ограничивал обратный ток (ток зарядки) максимальным значением, указанным в таблице 3.

Хранение, использование и утилизацию этих элементов питания следует осуществлять в соответствии с «Предупреждением», которое нанесено на элементы питания XenoEnergy и сообщает следующее; **«ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** Имеется опасность возгорания, взрыва и сильных ожогов. Запрещается перезаряжать, раздроблять, разбирать, нагревать до температуры выше 100 °C (212 °F), сжигать элементы питания или подвергать их содержимое воздействию воды».

Поддержка в виде конденсатора

Увеличение внутреннего сопротивления литиевого элемента питания после длительного хранения – обычное явление при отсутствии разрядки с достаточной скоростью или при крайне неравномерной импульсной разрядке с высоким значением импульсов. Внутреннее сопротивление также может значительно увеличиваться при непрерывной разрядке

на небольшую нагрузку в течение нескольких лет (разрядка порядка 80% ёмкости). Полная ёмкость литиевого элемента питания не может быть обеспечена к концу срока службы, потому что рабочее напряжение может упасть из-за увеличившегося внутреннего сопротивления в результате длительной разрядки.

Кроме того, при высоких уровнях тока, как показано на кривой C (рисунок 5) в разделе «Кривые задержки напряжения», или при низких рабочих температурах падение МНПП может быть значительным, и рабочее напряжение может уменьшиться.

В этом случае XenoEnergy рекомендует использовать элементы питания с поддержкой в виде конденсатора, чтобы обеспечить максимальные рабочие характеристики к концу срока службы.

Формула для выбора номинала конденсатора может быть предложена изготовителем конденсатора в следующем виде: тип конденсатора – электролитический конденсатор, суперконденсатор (ионистор).

Существуют две формулы для выбора номинала конденсатора:

$$C = I1 \times t / U1,$$

где I1 – ток в цепи 1, t – время обеспечения поддержки, U1 – допустимое падение напряжения в цепи 1;

$$C = U / R \times t / \Delta V,$$

где U – базовое напряжение (рабочее напряжение при базовом токе).

$$R = R_L + R_C,$$

где R_L – сопротивление цепи нагрузки (напряжение / ток импульса), R_C –

внутреннее сопротивление конденсатора C (значение в мОм, имеющее небольшое влияние), t – время обеспечения поддержки, ΔV – допустимое падение напряжения.

На практике заказчики должны выбирать номинал конденсатора примерно в 2 раза выше полученного в результате вышеприведённого расчёта, чтобы учесть различные условия окружающей среды в достаточной степени.

В конденсаторе имеется некоторый ток утечки, и он может быть связан с потреблением ёмкости элемента питания. Обычно он мал, но его также необходимо учитывать при расчёте ёмкости элемента питания.

Соединение нескольких элементов питания

Соединение нескольких элементов питания требует опыта. Заказчикам, не обладающим квалификацией в области соединения элементов питания, не следует пытаться соединять элементы питания. Особенно это касается Li-SOCl₂-элементов, которые имеют герметизацию типа «стекло - металл» вокруг клеммы в крышке и нижний изолятор внутри нижней части корпуса. Поэтому требуется соблюдать осторожность при соединении, чтобы не допустить никаких механических повреждений и не создать проблем. Компания XenoEnergy не может нести никакой ответственности за проблемы с качеством, возникшие в результате неправильного соединения элементов питания. Обратитесь в компанию XenoEnergy или к лицу, обладающему соответствующей квалификацией, если требуется осуществить соединение элементов питания.

Предупреждения относительно выбора элементов питания для соединения

- Следует выбирать элементы питания одинакового типа и размера.
- Элементы питания, прослужившие одинаковое время.
- Изделия одного и того же изготовителя.
- Элементы питания, имеющие одинаковую структуру и выполненные по одной технологии.

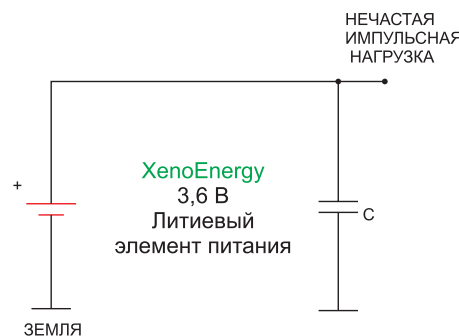


Рисунок 13. Типичная схема поддержки в виде конденсатора

Ориентация элементов в зависимости от варианта соединения

Как показано в разделе «Ориентация элемента питания», на ёмкость элемента питания может оказывать влияние его ориентация во время разрядки. В частности, элементы большего типоразмера (C, D), установленные в перевернутом положении, при высоком разрядном токе демонстрируют заметно меньшую ёмкость, чем в случае их установки в правильном вертикальном или в горизонтальном положении. Поэтому, чтобы получить наивысшую ёмкость при разрядке, необходимо выполнять следующие правила при соединении элементов питания больших типоразмеров:

1. Соединение элементов в одинаковом положении установки (при типоразмерах C, D).

В случае последовательных соединений элементы питания следует соединять в одинаковом положении и соединять различные клеммы проводами, как показано на рисунке 14. При параллельном соединении элементы питания следует соединять в одинаковом положении, используя обычное параллельное соединение, как показано на рисунке 14.

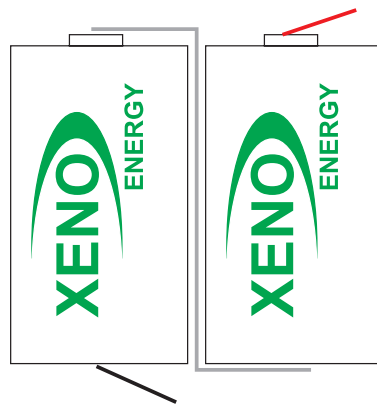
2. Соединение элементов в разных положениях установки (при типоразмерах C, D).

При последовательном соединении можно соединять элементы питания в разных положениях, но соединённые элементы питания должны быть установлены горизонтально. Вертикальная установка не рекомендуется, потому что ёмкость может уменьшиться из-за перевернутого положения установки элементов, как показано на рисунке 15.

Предупреждения и порядок соединения элементов питания

- Отделите элементы питания друг от друга, чтобы не допустить короткого замыкания.
- Выберите диапазоны напряжений так, чтобы соединённые элементы питания разряжались одинаково, без зарядки.

Последовательное соединение



Параллельное соединение

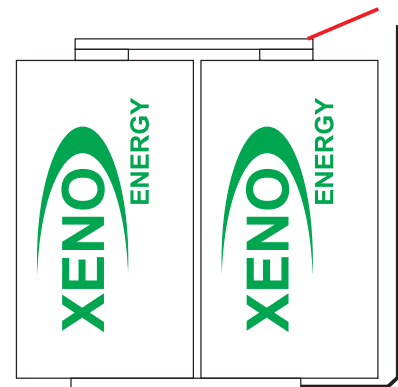


Рисунок 14. Последовательное и параллельное соединение элементов питания в одинаковом положении (рекомендуемый вариант соединения)

- Скрепите соединённые элементы клеящим веществом или лентой.
- Сваривайте электрические никелевые клеммы (клеммы с маркировкой T1 XenoEnergy) каждого положительного полюса и отрицательный корпус точечным или лазерным сварочным аппаратом с соответствующим током. Диапазон тока важен, но он будет разным в зависимости от того, какой сварочный аппарат использует монтажник. После точечной сварки следует взять образцы, чтобы проверить качество сварного шва. Клеммы типа T1 не должны отрываться от области сварки под действием силы, направленной вверх и эквивалентной весу в 20 кг.
- Паять выводы клемм следует в течение короткого времени, чтобы не допустить повреждения вследствие чрезмерного нагрева.
- Не сваривайте и не паяйте непосредственно к корпусу элемента,

потому что это приводит к его перегреву.

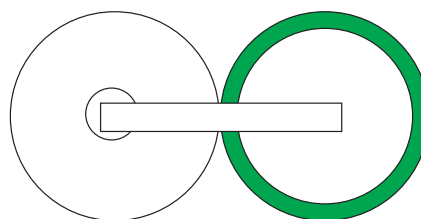
- Обмотайте места пайки изоляционной лентой.
- Для защиты наденьте на соединённые элементы питания термоусадочную трубку или кожух.
- Нанесите на элемент питания соответствующие данные путем печати или снабдите его этикеткой с указанием модели, напряжения, информации по обеспечению безопасности, предупреждений, кодовых обозначений дат и другой информации, которая требуется потребителю.

Конфигурации блоков параллельно соединённых элементов питания

При параллельном соединении в течение срока службы возможны случаи протекания обратного тока в некото-

Установка в горизонтальном положении

(Умеренные рабочие характеристики)



Установка в перевернутом положении

(Плохие рабочие характеристики)

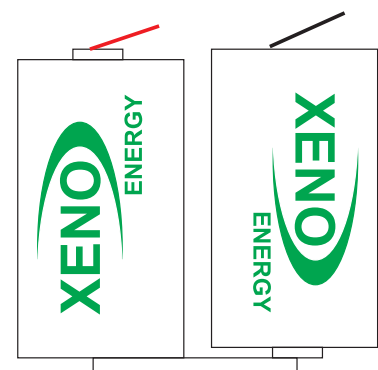


Рисунок 15. Последовательное соединение элементов питания в разном положении (нерекомендуемый вариант сборки)

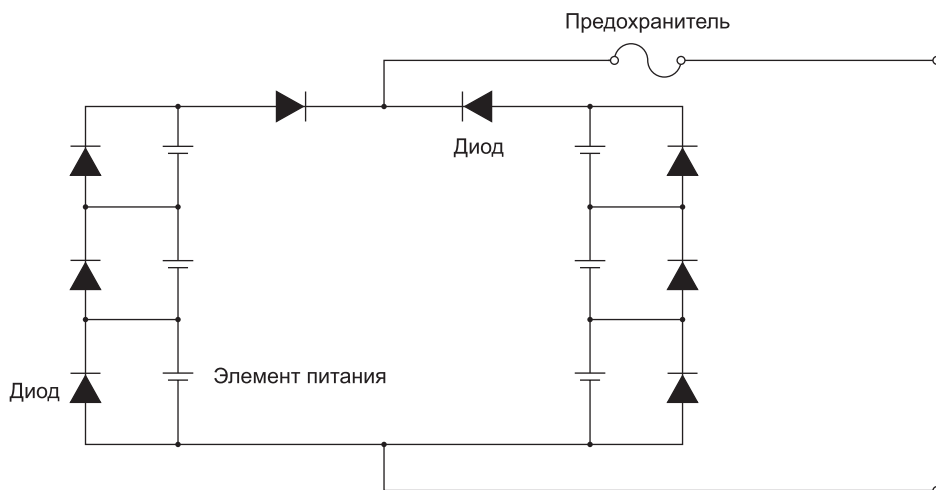


Рисунок 16. Предлагаемые варианты соединения нескольких элементов питания с защитными устройствами (Общая конфигурация последовательных и параллельных соединений)

рых элементах. Такие случаи возникают в результате разности напряжений или разных скоростей разрядки элементов питания. Чтобы избежать этой ситуации, необходимы шунтирующие диоды. Функция такого шунтирующего диода заключается в том, чтобы пропускать через себя разрядный ток, если элемент разряжен. Поэтому такой диод может предотвратить переразрядку элемента питания и обеспечить работу батареи элементов питания в течение всего срока службы вне зависимости от наличия разряженных элементов питания.

Конфигурации блоков последовательно соединённых элементов питания

При последовательном соединении с отдельными источниками питания некоторые опасения может вызывать чрезмерно высокий ток, влияющий на элемент питания, который вызван неисправностью цепи. Чтобы избежать этой ситуации, необходимы блокирующие диоды. Функция блокирующих диодов заключается в том, чтобы предотвращать протекание тока в элемент питания. Ток утечки диода должен быть ниже 10 мкА.

Пайка

Обычно компания XenoEnergy поставляет элементы питания с различными типами клемм для монтажа элементов питания на печатные платы путём пайки. Клеммы изделий производства XenoEnergy выполняются из никеля (клеммы T1, AX), и в некоторых случаях они предварительно лужены сплавом SnPb на конце для облегчения пайки (T2, T3).

Пайка вручную

Выполняется квалифицированными монтажниками с помощью ручного паяльника.

Меры предосторожности:

- Не допускайте контакта паяльника с корпусом элемента питания, это может привести к перегреву элемента питания.
- Паяльные работы необходимо выполнять очень быстро (максимум в течение 5 с).
- Не допускайте перегрева элемента питания при пайке.

Пайка волной припоя

Выполняется с помощью автоматических ванн с расплавленным припоем на линиях серийного производства.

Меры предосторожности:

- Не допускайте падения элементов питания в ванну с расплавленным припоем.
- Поддерживайте температуру ванны с припоем в пределах 260–280 °С.
- Время погружения должно быть не более 5 с.
- Не допускайте перегрева элемента питания при пайке.

Хранение и депассивация

Хранение батарей Xeno

Хранить батареи Xeno нужно в сухом (влажность до 30%) прохладном (температура окружающей среды до +30 °С) вентилируемом помещении в оригинальных упаковках. Свежие батарейки нельзя хранить вместе с уже использованными и тем более с поврежденными. При частичных отгрузках со склада рекомендуется использовать сначала батарейки из более ранних приходов. Следует также учитывать эффект пассивации.

Депассивация

Если батарейки долгое время хранятся без токоотдачи, то становится заметен эффект пассивации. Нарастание плёнки хлорида лития LiCl ведёт к резкому первоначальному падению напряжения при включении после долгого хранения — смотрите раздел «Задержка напряжения». Эффект пассивации становится заметным после полугодового хранения для стандартных батареек серии XL. Если предполагается хранение дольше полугода, лучше использовать специальную серию XLP. Если профиль тока приложения таков, что падение напряжения после долгого хранения может быть критичным, XenoEnergy рекомендует перед применением провести депассивацию.

Наша компания занимается проектными поставками электронных и электромеханических компонентов в страны СНГ. Мы являемся официальными поставщиками и рады предложить Вам продукцию следующих производителей

CM7V-T1A 32,768 кГц ± 20 ppm, часовой кварцевый резонатор от Micro Crystal (Швейцария, Swatch Group)



Правильные партномера для заказа:
 CM7V-T1A 32.768kHz 7pF 20ppm -40+85C 50kOhm;
 CM7V-T1A 32.768kHz 12.5pF 20ppm -40+85C 50kOhm

По данным кварцевым резонаторам мы предлагаем низкую, конкурентную цену и поддерживаем склад!

CM7V-T1A являются pin-to-pin заменой для часовых кварцев других производителей:

NDK	Geyer	FOX Electronics	Epson	Abracon	Jauch
NX3215Sx	KX-327NHx	K135, FX135x	FC-135x, FC-13F	ABS07	JTX310

Datasheet:

http://www.microcrystal.com/images/Product-Documentation/01_TF_ceramic_Packages/01_Datasheet/CM7V-T1A_Low-ESR.pdf

Также они являются хорошей заменой для устаревших часовых кварцев в металлических и пластиковых корпусах.



Кварцевый резонатор CM7V-T1A обладает рядом технических преимуществ:

- миниатюрный керамический корпус под SMD монтаж, размеры 3,2x1,5x0,65 мм;
- поставка на ленте для автоматического монтажа (возможна поставка в катушках 3000 шт., 14000 шт.);
- существует в индустриальном (-40 +85°C) и расширенном (-55 +125°C) температурном диапазоне;
- высокая временная стабильность частоты (старение не более ± 3 ppm в год);
- низкое потребление мощности;
- хорошая устойчивость к ударам и вибрации;
- рекомендован для работы с микроконтроллерами многих производителей, в том числе с MSP430 от Texas Instruments.

Основные применения:

- измерительные приборы (включая счетчики расхода электроэнергии, газа, воды);
- промышленное оборудование;
- телеком;
- автомобильная промышленность;
- медицинская техника;
- портативное оборудование

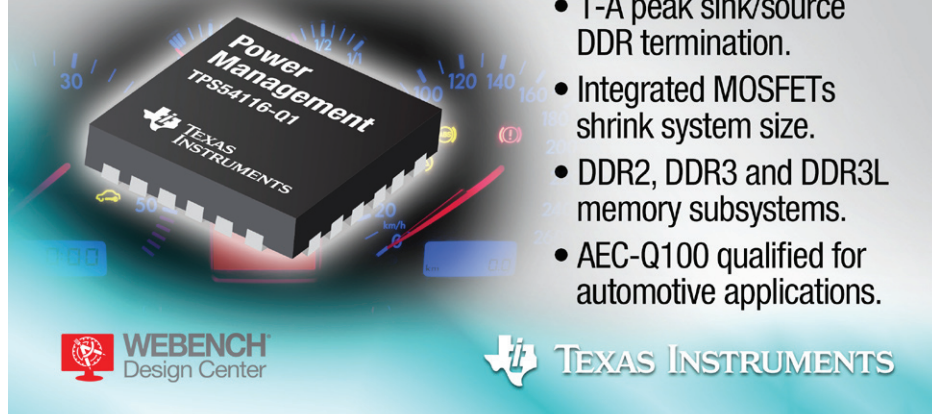
таким образом, везде, где используются микроконтроллеры и цифровые схемы, обычно нужны и часовые кварцы!

Основное преимущество компании «Сканту» – квалифицированная поддержка заказчика на стадии разработки: помощь в выборе элементной базы, техническое консультирование, в том числе с привлечением инженеров производителей, предоставление образцов средств разработки. Подробную информацию Вы можете найти на сайте www.scanti.com

Четыре совета по проектированию для получения частоты переключений 2 МГц

Fully-integrated DDR memory power solution

2.95-V to 6-V input, 4-A synchronous DC/DC buck converter



- 1-A peak sink/source DDR termination.
- Integrated MOSFETs shrink system size.
- DDR2, DDR3 and DDR3L memory subsystems.
- AEC-Q100 qualified for automotive applications.

гашения сигнала измерения тока. Наибольшее минимальное время пребывания конвертера во включённом состоянии обычно имеет место при условии минимальной нагрузки, и для этого есть три причины.

При более значительных нагрузках в цепи имеются падения постоянного тока, увеличивающие рабочее время пребывания во включённом состоянии.

Время нарастания и время спада импульса в узле коммутации. В периоды «мёртвого» времени (время между выключением полевого МОП-транзистора низкой стороны и включением полевого МОП-транзистора высокой стороны и между выключением полевого МОП-транзистора высокой стороны и включением полевого МОП-транзистора низкой стороны) ток, проходящий через индуктор, заряжает и разряжает любую паразитную ёмкость в узле коммутации. При незначительных нагрузках в индукторе меньше тока, поэтому ёмкость заряжается и разряжается медленнее, что приводит к более длительным периодам времени подъёма и спада в узле коммутации. Более длительные периоды времени подъёма и спада приводят к увеличению эффективной длительности импульса.

«Мёртвое» время перехода «от низкой к высокой». Когда полевым МОП-транзистором низкой стороны выключается, и до того, как полевым МОП-транзистором высокой стороны снова включится, проходящий через индуктор ток заряжает напряжение в узле коммутации, пока паразитный диод полевого МОП-транзистора высокой стороны не зафиксирует напря-

Разработчики должны соблюдать множество требований по электромагнитной совместимости (ЭМС) для применений в автомобилях. А также важен правильный выбор частоты переключения (f_{SW}) для источника питания для соблюдения этих требований. Большинство разработчиков выбирают f_{SW} за пределами средневолнового радиовещательного диапазона частот — обычно 400 кГц или 2 МГц, где электромагнитные помехи (ЭМП) должны быть ограничены. Выбор варианта 2 МГц предпочтителен по многим причинам. Приведём некоторые ключевые соображения, касающиеся попыток работать на частоте 2 МГц с использованием в качестве примера TPS54116-Q1 — нового

решения корпорации TI для питания памяти DDR.

Первый и самый важный фактор, который должен рассматриваться при работе с частотой переключения (f_{SW}) 2 МГц, — это минимальное время пребывания конвертера во включённом состоянии. В вольтодобавочном конвертере при включении полевого МОП-транзистора высокой стороны этот транзистор должен оставаться включённым в течение минимального времени пребывания во включённом состоянии, прежде чем он сможет выключиться. При наличии контроля режима пикового тока минимальное время пребывания во включённом состоянии обычно ограничивается временем

жение узла коммутации. В результате узел коммутации имеет высокий уровень напряжения в период «мёртвого» времени с момента выключения полевого МОП-транзистора низкой стороны до момента включения полевого МОП-транзистора высокой стороны. Поскольку в этот период времени узел коммутации имеет высокий уровень напряжения, «мёртвое» время «от низкой к высокой» увеличивает эффективную минимальную длительность импульса.

На рисунке 1 можно увидеть, что, несмотря на то, что время пребывания во включённом состоянии такое же, длительность импульса больше.

Второй фактор, который должен рассматриваться при попытке работать на частоте 2 МГц, — это коэффициент преобразования минимального входного напряжения (V_{in}) в выходное напряжение (V_{out}). Это связано с минимальным временем пребывания конвертера во включённом состоянии, поскольку этот коэффициент задаёт время пребывания во включённом состоянии, при котором конвертер должен работать. Например, если конвертер имеет минимальное время пребывания во включённом состоянии 100 нс и работает на частоте 2 МГц, то, используя уравнение 1, минимальный коэффициент преобразования (D_{min}), который он может поддерживать, составляет 20%. Если заданный коэффициент преобразования V_{in} в V_{out} требует времени пребывания во включённом состоянии меньше минимального времени пребывания во включённом состоянии, большинство конвертеров переходят в режим пропуска импульсов, чтобы сохранить выходное напряжение регулируемым. При пропуске импульсов f_{SW} меняется и может вызвать помехи на частотах, где помехи должны ограничиваться.

$$D_{min} = t_{on_{min}} \times f_{SW}. \quad (1)$$

В автомобильных применениях, где источник питания подключается к аккумулятору, время пребывания во включённом состоянии должно поддерживать преобразование из типового диапазона V_{in} от 6 до 18 В. Применяв уравнение 2 при максимальном входном напряжении 18 В

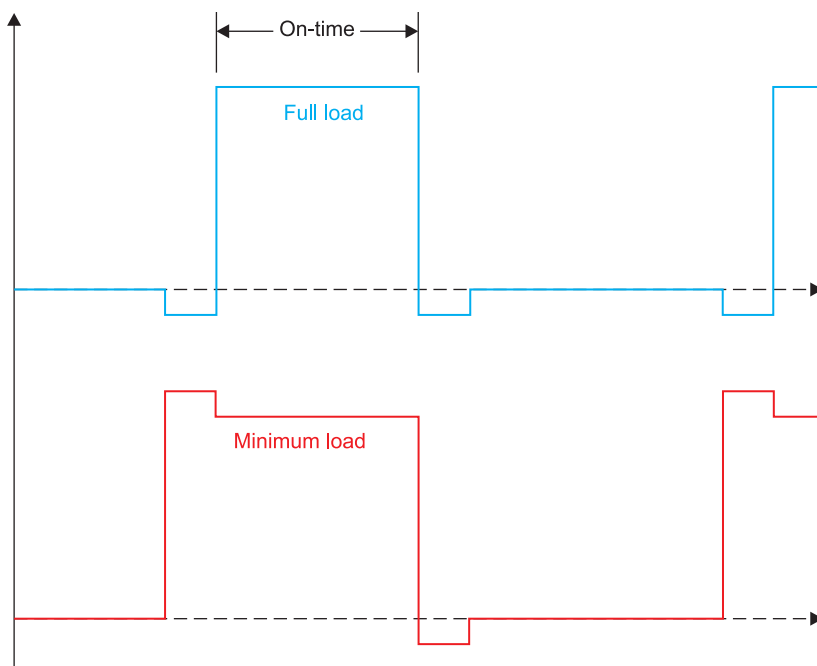


Рисунок 1. Длительность импульса при полной нагрузке по сравнению с длительностью при отсутствии нагрузки

и коэффициенте преобразования 20%, получим минимальное выходное напряжение 3,6 В. При прямом подключении к аккумулятору могут возникать большие всплески напряжения (такие как во время сброса нагрузки), превышающие этот типовой диапазон. В зависимости от требований применения конвертеру может быть разрешено или не разрешено пропускать импульсы во время всплесков входного напряжения.

$$V_{out_{min}} = D_{min} \times V_{in_{max}}. \quad (2)$$

Регулятору, подключённому к шине с напряжением 3,3 или 5 В, легче работать при 2 МГц. Например, TPS54116-Q1 имеет максимальное минимальное время пребывания во включённом состоянии 125 нс, поэтому при 2 МГц минимальный рабочий цикл составляет 25%. Минимальное выходное напряжение, которое может поддерживаться от входа 3,3 В, составляет 0,825 В; от шины 5 В — 1,25 В. Полный анализ минимального выходного напряжения в заданном применении должен также включать допуск по V_{in} и f_{SW} .

Третий фактор, который должен рассматриваться при попытке работать на частоте 2 МГц, — это потери переменного тока в индукторе. Потери переменного тока увеличива-

ются вместе с f_{SW} , поэтому это нужно учитывать при выборе индуктора для 2 МГц. В некоторых индукторах используется материал сердечника, предназначенный для более низких потерь переменного тока для обеспечения большей эффективности при более высоких частотах. Большинство поставщиков индукторов предоставляют инструмент для подсчета потерь переменного тока в их индукторах.

Четвёртый фактор, который должен рассматриваться при попытке работать на частоте 2 МГц, — это компромисс между размером и эффективностью. При выборе f_{SW} для преобразователя (конвертера) постоянного тока в постоянный следует найти компромисс между размером и эффективностью. Размер индуктора и некоторые потери конвертера увеличиваются вместе с f_{SW} . При конкретном сравнении 400 кГц с 2 МГц будет использоваться в 5 раз меньшая индуктивность, но будут иметься в 5 раз большие коммутационные потери. В 5 раз меньшая индуктивность означает меньший размер индуктора.

Два основных вида потерь в конвертере, связанных с f_{SW} , — это коммутационные потери в полевом МОП-транзисторе высокой стороны и потери «мёртвого» времени. Уравнение 3 —

это основной расчёт этих потерь, который можно использовать для дальнейшего анализа эффекта увеличения потерь при более высокой f_{SW} . Например, при 5 В на входе, нагрузке 4 А, времени подъёма 3 нс, времени спада 2 нс, падении напряжения на паразитном диоде 0,7 В и «мёртвом» времени 20 нс расчётная потеря мощности составляет 325 мВт при частоте 2 МГц и 65 мВт при частоте 400 кГц.

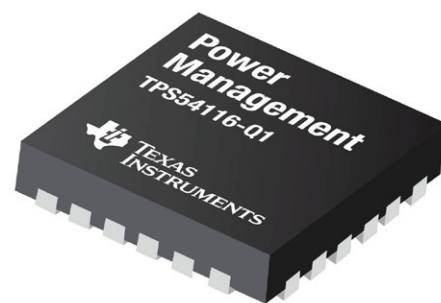
$$P(f_{SW}) = \frac{1}{2} \times V_{in} \times I_{out} \times (t_{rise} + t_{fall}) \times f_{SW} + V_{body} \times I_{out} \times (t_{deadlh} + t_{deadhl}) \times f_{SW} \quad (3)$$

Добавочные потери мощности вызывают повышение рабочей тем-

пературы соединения. Применяв уравнение 4 при $R_{\theta JA} = 35^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ из TPS54116-Q1EVM-830, получим повышение соединения интегральной схемы только на 9 °С. Тепловые характеристики могут отличаться при разных компоновках ППМ.

$$T_{rise} = R_{\theta JA} \times (P(2\text{MHz}) - P(400\text{kHz})) \quad (4)$$

Несмотря на то, что в техническом описании указана частота 2 МГц, во все не подразумевается, что 2 МГц достижимы при всех режимах работы. Переключение с частотой 2 МГц имеет достоинства и недостатки, и всегда существует компромисс между размером ваших решений конвертера постоянного тока в постоянный и эффективностью.



Закажите оценочный модуль [TPS54116-Q1EVM-830](#) и сразу начинайте проектировать свою конфигурацию для частоты 2 МГц в программе [WEBENCH@Power Designer](#)

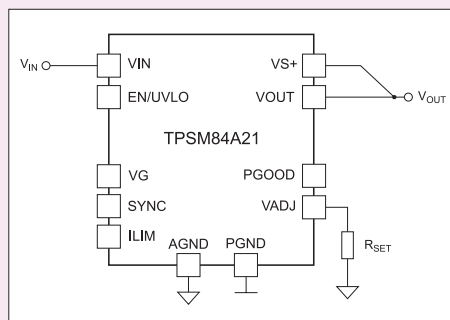
Низковольтные модули питания на ток до 10 А – TPSM84A2x

TI предлагает серию модулей питания, рассчитанных на выходные напряжения от 0,55 В и более, с током нагрузки до 10 А. Модули представляют собой полностью интегрированные синхронные понижающие DC/DC-преобразователи. В состав модуля, помимо элемента управления и силовых МОП-ключей, входят также дроссель и конденсаторы – входной и выходной. Так что для нормальной работы модуля требуется всего один внешний элемент – резистор, задающий значение выходного напряжения.

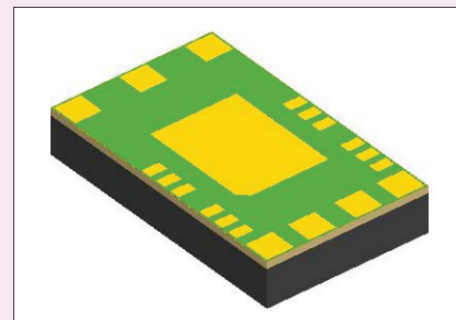
$$R_{SET} = \frac{1}{\frac{V_{OUT}}{0,508} - 1} \quad (\text{кОм})$$

Основные характеристики модулей:

- Входное напряжение от 8 до 14 В.
- Выходное напряжение, задаваемое внешним резистором:
 - Для модуля TPSM84A21 – от 0,51 до 1,35 В.



- Для модуля TPSM84A22 – от 1,2 до 2,05 В.
- Выходной ток до 10 А.
- КПД до 88%.
- Рабочая частота 4 МГц.
- Мгновенная реакция на изменение нагрузки.
- Возможность синхронизации внешним источником тактового сигнала.
- «Мягкий» старт.
- Токовая защита с возможностью регулировки.
- Защита от недостаточного напряжения на входе.
- Выход Power Good.



- Минимальная высота: габариты модуля 9×15×2,3 мм. Модули предназначены для создания распределённых систем питания в устройствах, содержащих FPGA и мощные процессоры, в том числе DSP:
- Инфраструктура телекоммуникационных и беспроводных сетей.
- Тестовое и измерительное оборудование.
- Устройства класса Compact PCI/ PCI Express/ PXI Express.

www.ti.com/product/TPSM84A21

Больше подключений с портфелем модулей беспроводной связи от TI для проектов в области Индустрии 4.0 и «Интернета вещей»

Корпорация TI расширяет свой портфель новым сертифицированным модулем Bluetooth® low energy со встроенной антенной



Модули беспроводной связи становятся всё более популярными благодаря разработчикам в рамках концепции «Индустрия 4.0» и «Интернета вещей» (IoT), поскольку усовершенствованная расширенная интеграция способствует снижению затрат на разработку, облегчает РЧ-дизайн, сокращает время от начала разработки изделия до его выхода на рынок и упрощает закупки и сертификацию.

TI объявила о расширении своего ведущего в отрасли портфеля модулей беспроводной связи выпуском в продажу новых сертифицированных модулей со встроенной антенной SimpleLink™ Bluetooth® low energy, которые обеспечивают наибольшую дальность действия в сочетании со сверхнизким потреблением энергии. Вдобавок к новым энергосберегающим модулям Bluetooth® корпорация TI предлагает модули для упрощения разработки изделий с обеспечением связи по технологии Wi-Fi®, dual-mode Bluetooth®, Wi-Fi + Bluetooth® combo и т. д.

Проектирование с применением модулей беспроводной связи от корпорации TI обеспечивает ряд преимуществ, включая:

- Ведущие в отрасли характеристики радиосвязи, включая самое низкое энергопотребление, самое большое

дальнодействие и апробированную функциональную совместимость с комплексными испытаниями качества и надёжности.

- Ускоренные темпы разработки благодаря заранее сертифицированным модулям, соответствующим зависящим от страны нормативным требованиям FCC/IC/CE/TELEC и сертификации Wi-Fi Alliance, наряду со встроенными антеннами и экосистемой инструментов. Также TI предлагает и сертифицированные программные стеки для спецификации Bluetooth®. Кроме того, имея новые модули SimpleLink Bluetooth® low energy, разработчики получают свободу выбора использовать модуль как одночипное решение либо как процессор беспроводной сети, чтобы можно было легко добавить технологию Bluetooth® low energy в область применений IoT.
- Проверенное и надёжное снабжение миллионами модулей, уже отправленных по всему миру, обеспечивающее простой путь перехода от модуля к решению в виде ИС для дополнительного сокращения расходов. TI предлагает поддержку в любой точке мира через сообщество TI E2E™.

Комплекты разработки и оценка

Комплекты разработки на базе модулей беспроводной связи Texas Instruments теперь можно приобрести в интернет-магазине* TI Store и у авторизованных дистрибьюторов TI:

- Модуль SimpleLink™ Bluetooth® low energy CC2650MODA BoosterPack™ plug-in module: \$29.
- Комплект для разработки SimpleLink Wi-Fi CC3200 module LaunchPad™ development kit: \$34,99.
- Модуль SimpleLink Wi-Fi CC3100 module BoosterPack plug-in module: \$24,99.
- Двухрежимный модуль Dual-mode Bluetooth CC2564MODA module BoosterPack plug-in module: \$20.
- Макетные платы WiLink™ 8 Wi-Fi + Bluetooth® module:
 - оценочный модуль WL1835MODCOM8B: \$39,79;
 - оценочный модуль WL1837MODCOM8I: \$49,99;
 - оценочный модуль WL18XXCOM82SDMMC: \$69,99.

* цены действительны при покупке на сайте производителя.

www.ti.com/wirelessmodules-pr-eu



4/2016



1/2017



2/2017

Контакты

Центральный офис

115533, Москва, пр. Андропова, д. 22
БЦ «Нагатинский», 10 этаж
Тел: +7(495)987-1119
факс: +7(495)987-1118
E-mail: order@scanti.com / www.scanti.com

Офис в Санкт-Петербурге

195027, Санкт-Петербург,
пр. Энергетиков, д. 10, лит А, БЦ «Крол», офисы: 602, 603
Тел: +7(812)380-8391
Факс: +7(812)380-8392
E-mail: order@scanti.com / www.scanti.com

Офис в Минске

Беларусь, 220099, Минск, ул. Казинца, д. 4, к. 514
(здание ГО «Белресурсы»)
Тел: +375(17)398-2162
Тел./факс: +375(17)256-0867
E-mail: order@scanti.com / www.scanti.com

Офис в Киеве

Украина, 02002, Киев, ул. Марины Расковой, д. 23
офис 1026
Тел./факс: +38(044)206-2277
E-mail: order@scanti.com

3/2017 ВМЕСТЕ В БОРЬБЕ ЗА ЛИДЕРСТВО!