



РАДИОЛОЦМАН

Июнь 2017 (73)

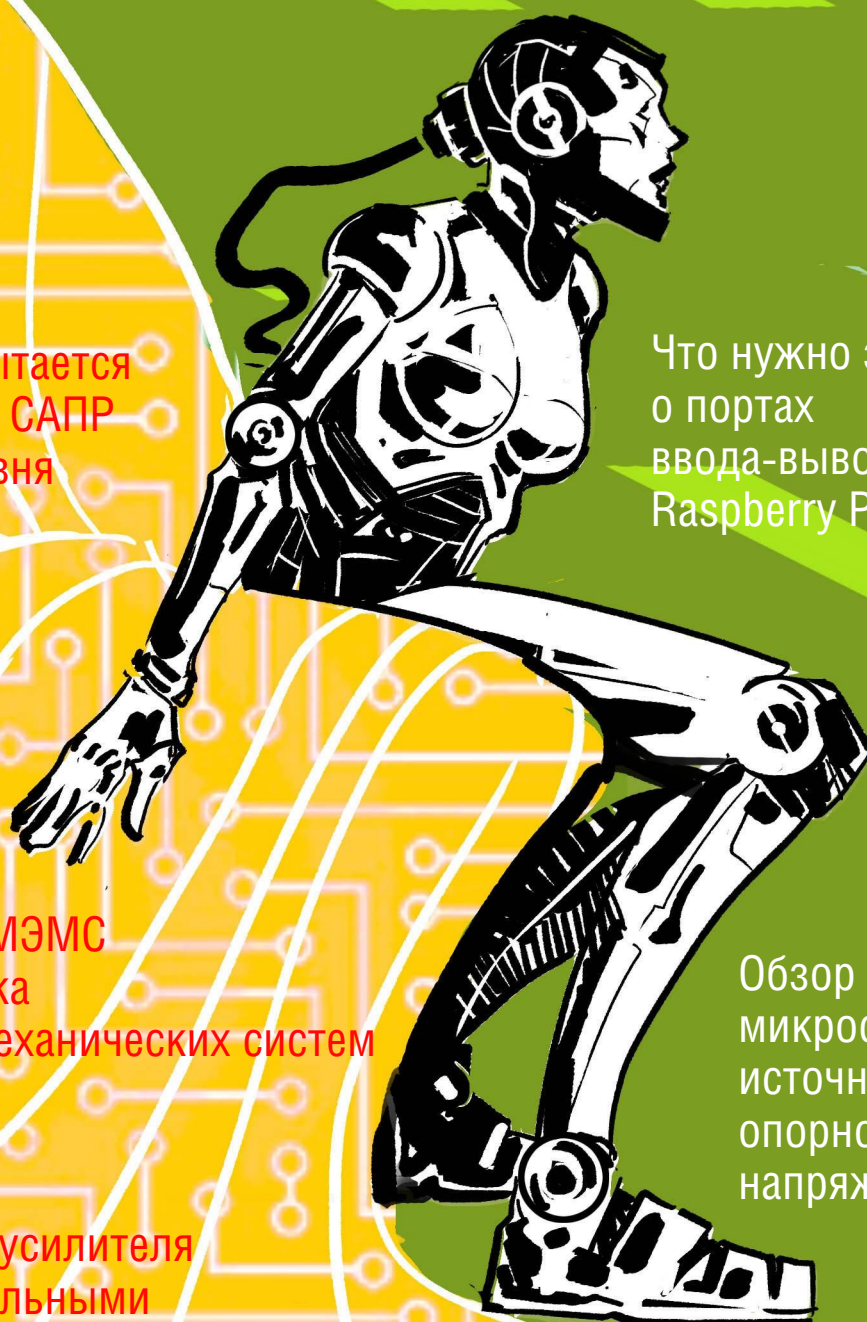
7 **Mentor вновь пытается
выйти на рынок САПР
начального уровня**

28 **Ассоциация РАМЭМС
и развитие рынка
микроэлектромеханических систем
в России**

48 **Использование усилителя
с дифференциальными
 входами/выходами
в приложениях
с несимметричными сигналами**

Что нужно знать
о портах
ввода-вывода
Raspberry Pi 52

Обзор
микросхем
источников
опорного
напряжения 42





РАДИОЛОЦМАН.ЖУРНАЛ

www.rlocman.ru/magazine

Официальные версии только здесь: без регистрации и назойливой рекламы, с высокой скоростью скачивания.

РАДИОЛОЦМАН.ФОРУМ

www.rlocman.ru/forum

Обсуждайте статьи и новости, общайтесь!
Приглашаем профессионалов.

РАДИОЛОЦМАН.ЦЕНЫ

www.rlocman.ru/price

Подберите оптимального поставщика
электронных компонентов, измерительной и электронной техники.
Цены, условия поставки и доставки.

РАДИОЛОЦМАН.СОЦ.СЕТИ

Обновления в привычном формате.



vk.com/rlocman



facebook.com/rlocman



odnoklassniki.ru/rlocman



twitter.com/rlocman

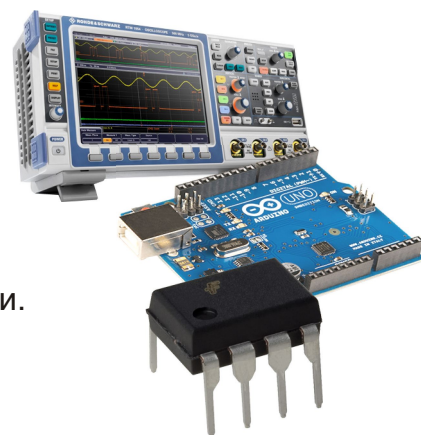


google.com/+RlocmanRuPlus

И еще многое другое на портале:

РАДИОЛОЦМАН. ...

www.rlocman.ru



Главный редактор:

А. Николаев

Над номером
работали:

А. Гаврилюк
Д. Иоффе
В. Колесник
С. Муратчаев
А. Николаев
Н. Радунцева
М. Русских
А. Русу

Обложка:

А. Кравчук

Директор:

С. Муратчаев

По вопросам размещения
рекламы, публикации
авторских материалов, с
замечаниями и пожеланиями
обращаться:

rlocman@rlocman.ru

+7 (495) 721-72-14

www.rlocman.ru

Официальные версии
журнала распространяются
бесплатно и без регистрации
только на сайте
РадиоЛоцман

При любом использовании материалов, опубликованных в журнале, ссылка на РадиоЛоцман обязательна. Полное или частичное воспроизведение или тиражирование каким бы то ни было способом материалов настоящего издания допускается только с письменного разрешения редакции.

Мнения авторов не всегда отражают точку зрения редакции.

Оформление
бесплатной подписки:

www.rlocman.ru/magazine

Новости

- 4 Миниатюрный микромощный повышающий регулятор компании Maxim увеличит время работы носимых устройств
- 5 Контроллер синхронного понижающего преобразователя Analog Devices увеличит плотность мощности источников питания
- 7 Mentor вновь пытается выйти на рынок САПР начального уровня, на этот раз с PADS Maker
- 8 EPC представила монолитные нитрид-галлиевые полумостовые схемы для локализованных к нагрузке преобразователей энергии
- 8 Analog Devices анонсировала новые миниатюрные изолированные драйверы затворов для коммутаторов энергии следующего поколения
- 10 Analog Devices выпускает на рынок широкополосную монолитную GaN микросхему усилителя мощности
- 10 Analog Devices выпускает малошумящий понижающе-повышающий преобразователь на коммутируемых конденсаторах
- 12 Transphorm анонсирует первые в отрасли высоковольтные GaN МОП-транзисторы для автомобильных приложений
- 13 Intersil расширяет семейство 12-вольтовых синхронных понижающих стабилизаторов
- 15 Allegro MicroSystems анонсирует микромощный драйвер светодиодов с интегрированным переключателем на основе эффекта Холла
- 16 В преобразователях напряжения промежуточных шин питания безындуктивный DC/DC контроллер отдает в нагрузку 500 Вт
- 18 Новый автомобильный драйвер светодиодов компании Maxim стал первым прибором, сочетающим сверхвысокое быстродействие с низким уровнем излучаемых помех
- 19 Alpha and Omega Semiconductor расширила семейство EZBuck 5-амперным DC/DC регулятором
- 20 Peregrine Semiconductor представляет мощный радиочастотный коммутатор для защиты приемных трактов
- 21 Seoul Semiconductor разработала самые миниатюрные в мире 24-ваттные драйверы светодиодов
- 23 Nuvoton предлагает новый высокоэффективный микроконтроллер семейства 1T 8051
- 24 Миниатюрные истинно-зеленые светодиоды Vishay Intertechnology позволят снизить размеры конечных продуктов
- 24 Высокоэффективный двухканальный синхронный понижающий преобразователь Analog Devices работает на частоте до 4 МГц
- 26 Dialog Semiconductor представила первую микросхему интерфейса USB-PD, оптимизированную для зарядных устройств

Статьи

- 28 Ассоциация РАМЭМС и развитие рынка микроэлектромеханических систем в России
- 34 Микроконвертеры ADuC84x: удачное сочетание аналоговой периферии с ядром 8052. Часть 2
- 42 Обзор микросхем источников опорного напряжения
- 48 Использование усилителя с дифференциальными входами/выходами в приложениях с несимметричными сигналами

Схемы

- 52 Что нужно знать о портах ввода-вывода Raspberry Pi. Часть 1
- 58 Инвертирующему усилителю выборки-хранения не нужны внешние резисторы
- 60 Источник постоянного тока на основе импульсного регулятора напряжения
- 62 Самодельный калибратор напряжения постоянного тока и опорный источник с ошибкой менее 70 мкВ
- 66 Преобразователь периода в число оборотов в минуту для очень низких частот
- 70 Нестандартная схема понижающего преобразователя напряжения
- 72 Усовершенствованная схема защиты лазерного диода от бросков напряжения
- 74 Режекторный фильтр с автоматической настройкой для аудио приложений
- 76 Цифровой потенциометр программирует и стабилизирует напряжение опорного источника

Миниатюрный микромощный повышающий регулятор компании Maxim увеличит время работы носимых устройств

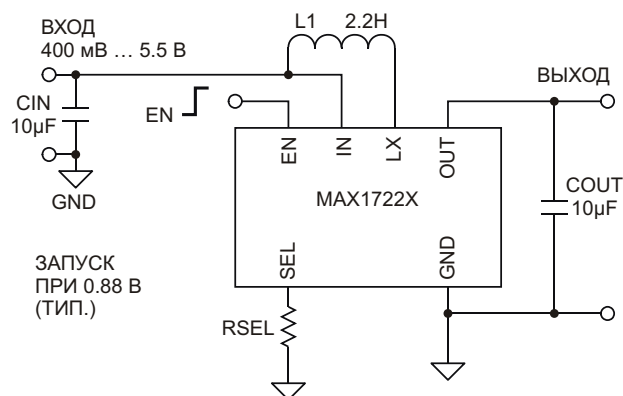
При собственном токе потребления 300 нА и пиковом КПД 95% регулятор MAX17222 позволяет до двух раз сократить размеры законченного решения

Высокий КПД и очень низкий, не превышающий 300 нА, собственный ток потребления нового повышающего регулятора напряжения MAX17222 компании Maxim Integrated, пополнившего семейство микросхем nanoPower, увеличит срок службы батарей в самых миниатюрных конструкциях носимых и бытовых устройств Интернета вещей. Повышающий регулятор с входным напряжением от 0.4 В до 5.5 В, выходным напряжением от 1.8 В до 5 В и током нагрузки до 500 мА позволяет сократить размеры решения на 50% по сравнению аналогичными продуктами и минимизировать тепловыделение за счет достигающего 95% пикового КПД. Эти характеристики идеальны для носимых устройств, совокупный среднегодовой рост производства которых по прогнозу аналитической компании IDC в 2020 году будет составлять 18.4%.



Разработчики новых нательных электронных приборов, устройств Интернета вещей, мобильного и другого подключаемого оборудования всеми силами стремятся продлить срок службы батарей в своих изделиях, особенно в связи с ростом их функциональности и повышением характеристик при одновременном снижении размеров. Используемые на этом рынке решения для питания требуют, в первую очередь, низкого тока потребления и высокой степени интеграции.

MAX17222 не только превосходит по экономичности все аналогичные приборы, но также минимизирует тепловыделение и снижает ток покоя. Ничтожный ток в режиме истинного останова (True Shutdown), не пре-



Типовая схема включения.

вышающий 0.5 нА, практически прекращает разряд батареи и делает ненужными внешние ключи отключения питания. Содержащий внутренние цепи коррекции и требующий лишь задающего конфигурацию резистора и небольшого выходного фильтра регулятор MAX17222 значительно снижает размеры решения по сравнению с другими аналогичными продуктами. Для удобства пользователей регулятор поставляется в корпусах двух типов: в крошечном 6-контактном корпусе WLP размером 0.88 мм × 1.4 мм и в стандартном 6-выводном корпусе μDFN с размерами 2 мм × 2 мм. Преобразователь рассчитан на работу в диапазоне температур от –40 °C до +85 °C.

Основные преимущества

• Очень большой срок службы батареи:

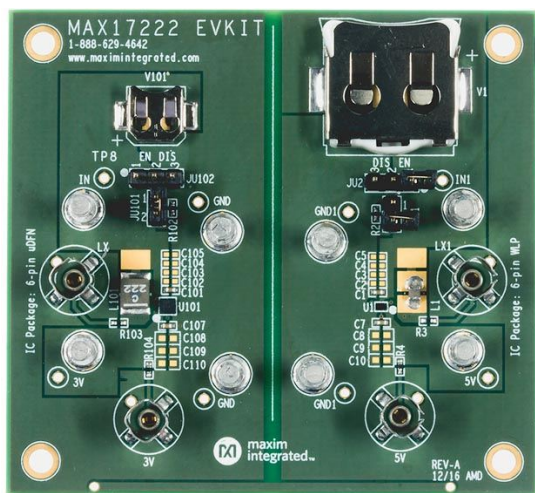
Значительно снижен разряд батарей в режимах ожидания и останова. Минимальное входное напряжение 0.4 В (при минимальном напряжении запуска 0.88 В) позволяет использовать регулятор с глубоко разряженными батареями и ионисторами.

• Минимальные размеры решения:

Высокая степень интеграции позволяет до двух раз сократить площадь повышающего преобразователя по сравнению аналогичными продуктами.

• Высокий КПД:

Пиковый КПД 95% минимизирует тепловыделение в активном режиме.



MAX17222EVKIT#: оценочный набор для микросхемы MAX17222.

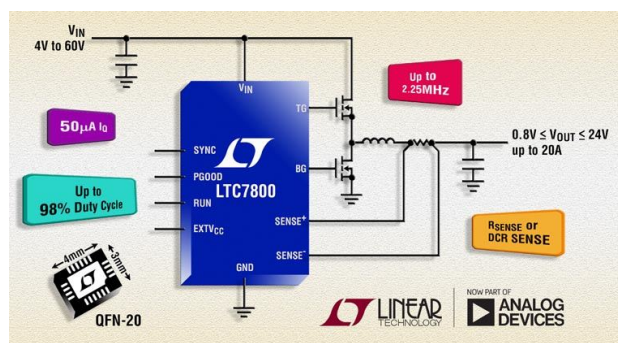
Доступность и цена

- В партиях из 1000 приборов микросхемы продаются по цене \$1.23 за штуку. Купить их можно на сайте Maxim или у авторизованных дистрибьюторов компании.
- Оценочный набор MAX17222EVKIT# можно приобрести за \$34.99.
- Имеется модель для симулятора EE-Sim.

Дополнительно Maxim сообщает о возможности немедленного приобретения со склада полного набора микросхем семейства nanoPower, предназначенных для ультрамаломощных приложений, включающего компараторы, операционные усилители и супервизоры питания. Эти устройства доступны на веб-сайте Maxim и у авторизованных дистрибьюторов компании.

Контроллер синхронного понижающего преобразователя Analog Devices увеличит плотность мощности источников питания

Analog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, сообщила о выпуске контроллера синхронного понижающего DC/DC преобразователя LTC7800, работающего на частотах до 2.25 МГц, который позволит заметно сократить размеры схем и увеличить плотность мощности. Равное всего 45 нс минимальное время включения позволяет входное напряжение 24 В преобразовывать в 3.3 В на фиксированной частоте 2 МГц, избегая чувствительных к шумам частотных диапазонов, включая АМ радио. Синхронное детектирование обеспечивает КПД до 95%, в то время как пульсирующий режим работы в отсутствие нагрузки снижает собственный ток потребления до значений менее 50 мкА, что идеально подходит для постоянно включенных систем.



Диапазон рабочих входных напряжений LTC7800 от 4 В до 60 В гарантирует надежную защиту от высоковольтных помех и возможность непрерывной работы во время холодного запуска автомобильного двигателя, а также поддерживает широкий спектр входных источников питания и типов аккумуляторов. Выходное напряжение, устанавливаемое в диапазоне от 0.8 В до 24 В при токе нагрузки до 20 А, соответствует требованиям различных 12- или 24-вольтовых приложений, включая автомобильную электронику, тяжелую технику, робототехнику, средства управления производственными процессами и телекоммуникационное оборудование.

На кристалле LTC7800 интегрированы мощные драйверы MOSFET с сопротивлениями открытых каналов 1.1 Ом. Контроллер работает на фиксированной частоте, выбираемой из диапазона от 320 кГц до 2.25 МГц, и может синхронизироваться внешними импульсами в том же диапазоне частот. Пользователю предоставлена возможность выбора между непрерывной работой, режимом пропуска импульсов и пульсирующим режимом при малых нагрузках. Режим управления по току индуктивности намного упрощает

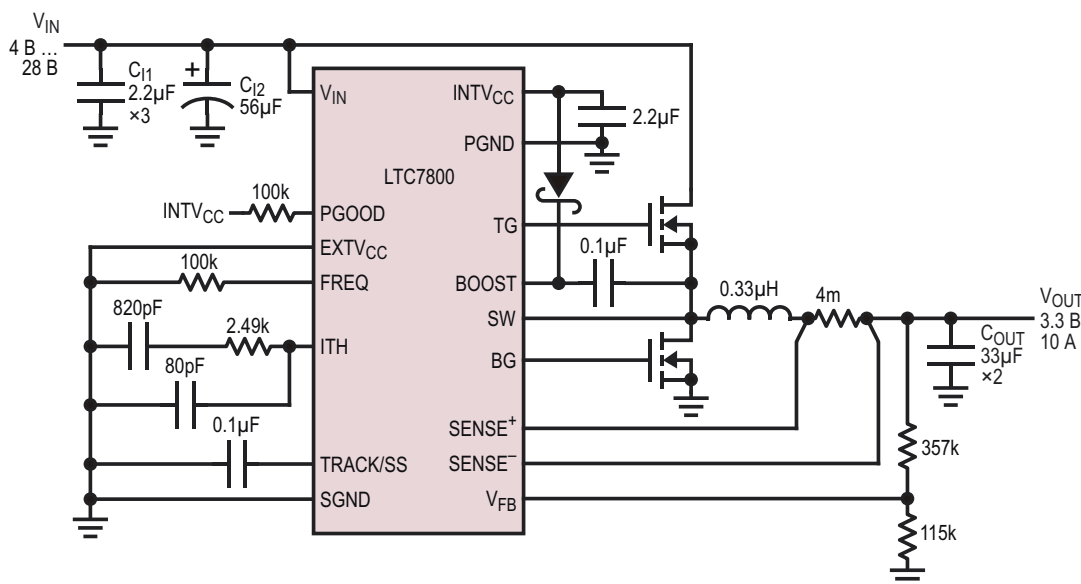


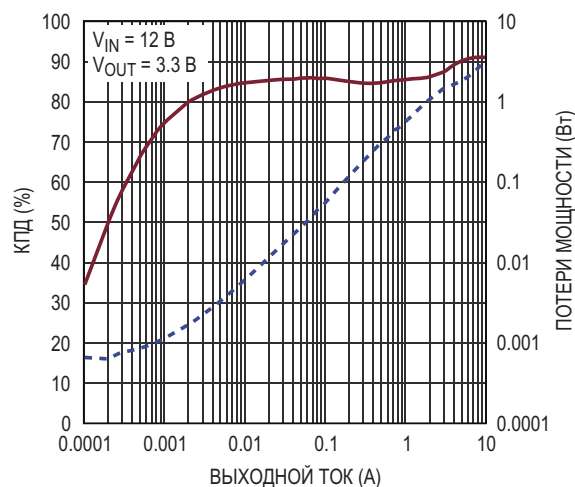
Схема высокоэффективного понижающего преобразователя с выходным напряжением 3.3 В, работающего на частоте 2.1 МГц.

частотную компенсацию петли обратной связи, увеличивает скорость отклика на переходные процессы и обеспечивает отличное качество стабилизации. В качестве датчика для измерения выходного тока может использоваться как постоянное сопротивление выходного дросселя, так и внешний резистор. Прогрессирующее ограничение токов MOSFET не допускает перегрева транзисторов в случае перегрузки. Среди прочих особенностей микросхемы следует выделить возможность работы с коэффициентом заполнения до 98%, что полезно при использовании разряженной батареи, наличие внутреннего LDO стабилизатора для питания драйвера затворов от входного напряжения или от внешнего источника, а также выходной сигнал «Питание в норме».

LTC7800 выпускается в 20-выводном корпусе QFN размером 3 мм × 4 мм со сниженным тепловым сопротивлением, совместимом по выводам с микросхемой LTC3891. Предлагаются три версии контроллеров: для расширенного и промышленного диапазонов температур от –40 до 125 °С и высокотемпературная версия для схем автоэлектроники, рассчитанная на диапазон от –40 °С до 150 °С. В партиях из 1000 приборов цена одной микросхемы начинается от \$3.47.

Сводка основных характеристик LTC7800

- Широкий диапазон входных напряжений: 4 В ... 60 В;
- Широкий диапазон выходных напряжений: 0.8 В ... 24 В;
- Синхронизируемая ФАПЧ фиксированная рабочая частота от 320 кГц до 2.25 МГц;
- Низкое минимальное время включения 45 нс для больших соотношений входного и выходного напряжений;
- Собственный ток потребления 50 мкА



Зависимость КПД и потерь мощности от тока нагрузки.

- Синхронное выпрямление с КПД до 95%;
- Интегрированные мощные драйверы затворов MOSFET с сопротивлениями каналов 1.1 Ом;
- Измерение тока по падению напряжения на внешнем резисторе или на сопротивлении выходного дросселя;

- Выбор между пульсирующим режимом, режимом пропуска импульсов и непрерывной работой;
- Регулируемые параметры мягкого запуска или слежения;
- Защита от перенапряжения на выходе и прогрессирующее ограничение тока нагрузки.

Mentor вновь пытается выйти на рынок САПР начального уровня, на этот раз с PADS Maker

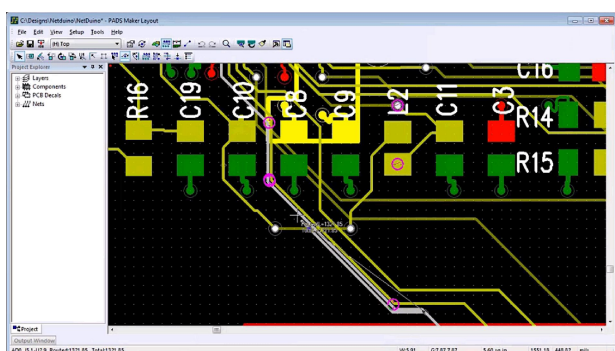
Michael Dunn

EDN

Второй раз за последние годы Mentor Graphics пробует свои силы в САПР печатных плат начального уровня.

В конце 2014 года EDN сообщал о совместном продукте Mentor и DigiKey под названием Designer – системе проектирования начального и среднего уровня, предлагавшейся пользователям за \$600. Неясно, как долго эта программа оставалась активной, но сегодня никаких ее следов я обнаружить не смог.

И вновь Mentor объединилась с DigiKey, чтобы на этот раз выпустить PADS MakerPro ценой \$499 и бесплатный PADS Maker. И хорошей новостью для брошенных разработчиков будет то, что эти PADS будут импортировать их файлы.



Противопоставление и сравнение

Не удивительно, что бесплатная версия довольно сильно ограничена, хотя и не настолько, как некоторые другие системы проектирования. Максимальная поддерживаемая площадь печатной платы равна

160 см² при разрешенных 1500 соединениях (неясно, что это значит: цепи или контактные площадки), а число слоев должно быть не больше 6 (не более 4 одиночных слоев). Вы спросите, что такое «одиночный слой»? Может ли это быть «сигнальный слой»? Что тут скажешь – от такой документации я не в восторге.

В истинно крупной компании по-прежнему требуется лицензионный ключ, и срок его действия истекает через год. Я считаю, что это должно настораживать. Если Mentor прекратит поддержку, ваша программа скоро умрет. В отличие от некоторых других бесплатных систем проектирования электроники, создаваемые конструкции остаются в собственности разработчика, а не уходят в облака.

Версия MakerPro не имеет ограничений по числу соединений, максимальная площадь печатной платы составляет 320 см², а разрешенное число слоев равно 8 (6 одиночных).

Неожиданно лицензия MakerPro оказалась бессрочной. Однако обе лицензии привязаны к операционной системе и сетевому имени машины, а такие решения меня никогда не привлекали. Возможно, будущее за выполнением подобных программ на виртуальных машинах.

В обеих версиях имеется автотрассировщик, поддерживающий иерархические схемы или 3D рендеринг собранных плат.

Обе версии поддерживают доступ к облачному симулятору PADS AMS, а также к PartQuest – интерфейсу полного каталога DigiKey.

ЕРС представила монолитные нитрид-галлиевые полумостовые схемы для локализованных к нагрузке преобразователей энергии

Нитрид-галлиевые полумосты EPC2111, дающие разработчикам решение для повышения эффективности локализованных к нагрузке преобразователей энергии, при выходном напряжении 1.8 В и токе 14 А имеют КПД 85% на частоте переключения 5 МГц, и 80% на частоте 10 МГц

Компания EPC анонсировала 30-вольтовые монолитные нитрид-галлиевые (GaN) транзисторные полумостовые схемы EPC2111. Объединением в одном устройстве двух мощных eGaN МОП-транзисторов устраняются индуктивности межсоединений и неиспользуемые промежутки на печатной плате. Благодаря этому одновременно увеличиваются как КПД (особенно на высоких частотах), так и плотность мощности, что для конечного пользователя означает снижение стоимости сборки системы преобразования энергии. EPC2111 идеально подходят для высокочастотного DC/DC преобразования напряжения 12-вольтовых шин в точках подключения нагрузках.

Каждый транзистор внутри полумоста EPC2111 рассчитан на максимальное напряжение 30 В. Верхний МОП-транзистор имеет типовое сопротивление открытого канала 14 мОм, а нижний – 6 мОм. Для увеличения скорости переключения и улучшения тепловых характеристик EPC2111 выпускаются в корпусах с размерами кристалла, имеющих габариты 3.5 мм × 1.5 мм.



Основной областью применения новых устройств будут ноутбуки и планшетные компьютеры. Схемы преобразования энергии в этих устройствах занимают почти половину пространства и определяют высоту материнской платы. Высокие рабочие частоты GaN приборов позволят значительно сократить размеры преобразователей энергии, а значит, и размеры мобильных вычислительных устройств следующего поколения.

Цена и доступность

В партиях из 1000 приборов монолитные полумосты EPC2111 продаются по цене \$1.62 за штуку. Приобрести устройства можно у компании Digi-Key.

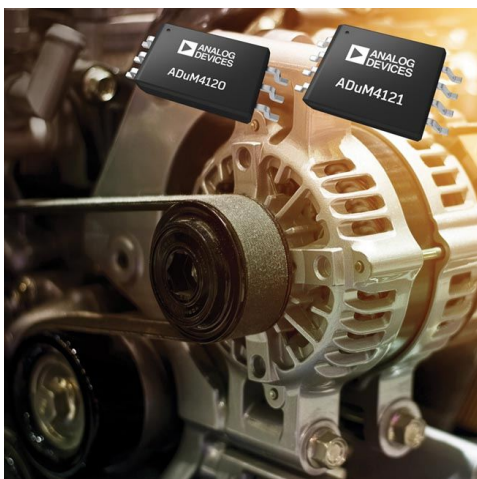
Analog Devices анонсировала новые миниатюрные изолированные драйверы затворов для коммутаторов энергии следующего поколения

Analog Devices (ADI) анонсировала компактные драйверы затворов, способные повысить скорости переключения и снизить размеры систем, в которых используются SiC (карбид-кремниевые) и GaN (нитрид-галлиевые) приборы, и в то же время обеспечить надежное управление коммутацией традиционных IGBT и MOSFET устройств. ADuM4120 и ADuM4121 основаны на разработанной ADI и проверенной временем комбинации техно-

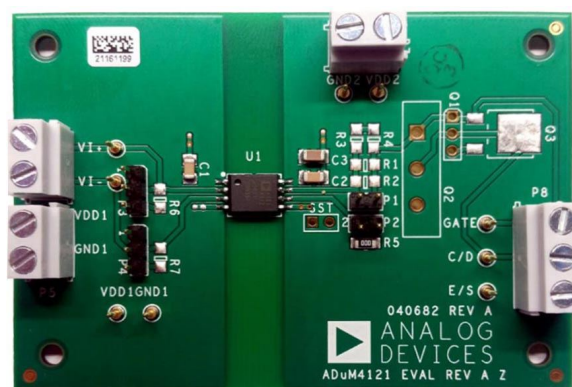
логии iCoupler и технологии быстродействующих монолитных КМОП трансформаторов, гарантирующей ультранизкие задержки переключения при сохранении высокой устойчивости к синфазным броскам напряжения.

В то время как при использовании традиционных альтернатив, таких как оптоизоляторы или импульсные трансформаторы, обеспечивать выполнение современных требований в части снижения задержек переключе-

ния и улучшения устойчивости к синфазным помехам становится все сложнее, надежные микросхемы ADuM4120 и ADuM4121 разрабатывались специально для поддержки более высоких скоростей переключения инверторов новых архитектур. Небольшие корпуса SOIC новых приборов позволят минимизировать размеры систем, требующих нескольких силовых ключей, а также снизят требования к их охлаждению. Благодаря малым размерам драйверов затворов, их можно размещать ближе к силовым ключам, чтобы снизить паразитные индуктивности между драйвером и внешним транзистором. Высокие рабочие температуры и напряжения новых приборов дадут возможность улучшить энергоэффективность и стабильность временных характеристик солнечных инверторов, драйверов двигателей, и промышленных преобразователей энергии.



Все четыре одноканальных изолированных драйвера затворов новой серии рассчитаны на выходной ток до 2 А, имеют напряжение изоляции 5 кВ с.к.з., устойчивы к синфазным импульсным помехам со скоростью



Оценочная плата EVAL-ADuM4121EBZ.

нарастания более 150 кВ/мкс и отличаются низкой задержкой распространения. Устройства, работающие при напряжениях питания от 2.5 до 6.5 В, обеспечивают совместимость с низковольтными системами, предоставляя все преимущества истинной гальванической изоляции между входом и выходом. ADuM4120 и ADuM4120-1 имеют цепи защитного отключения при перегреве. Микросхема ADuM4120 с глитч-фильтром снижает системные шумы на входном выводе, способные стать причиной ложных переключений выхода, в то время как ADuM4120-1, не имеющая глитч-фильтра, поддерживает типовое время задержки распространения 33 нс. В ADuM4121 и ADuM4121-1 для дополнительной защиты введены цепи компенсации эффекта Миллера. В ADuM4121 добавлена внутренняя схема защитного отключения при перегреве. Уменьшив размеры новых драйверов при сохранении основных технических характеристик, ADI предоставила разработчикам универсальные компоненты, необходимые для успешного проектирования систем преобразования энергии следующего поколения.

Цены и доступность

Продукт	Ключевые особенности драйвера	Серийное производство	Цена за ед. в партии из 1000 шт.	Корпус
ADuM4120	С глитч-фильтром	Сейчас	\$1.58	SOIC 6 выв.
ADuM4120-1	Без глитч-фильтра	Сейчас	\$1.58	SOIC 6 выв.
ADuM4121	Внутренняя схема компенсации эффекта Миллера с защитным отключением при перегреве	Сейчас	\$1.87	SOIC 6 выв.
ADuM4121-1	Внутренняя схема компенсации эффекта Миллера без тепловой защиты	Сейчас	\$1.87	SOIC 6 выв.

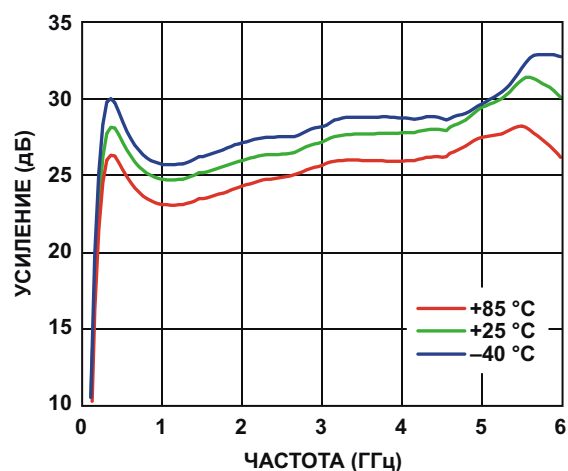
Аnalog Devices выпускает на рынок широкополосную монолитную GaN микросхему усилителя мощности

Аnalog Devices представила широкополосный нитрид-галлиевый (GaN) усилитель мощности в компактном корпусе и лучшими в своем классе характеристиками. Преимущества нового высокоинтегрированного усилителя HMC8205, охватывающего диапазон частот от 300 МГц до 6 ГГц, оценят системные разработчики таких приложений, как оборудование беспроводной инфраструктуры, радары, средства мобильной радиосвязи общего пользования и контрольно-измерительные приборы. Непревзойденное сочетание интеграции, коэффициента усиления, КПД и полосы пропускания в миниатюрном корпусе монолитной GaN микросхемы СВЧ усилителя HMC8205, требующей минимального количества внешних компонентов, позволит создавать компактные и надежные конструкции.



О монолитной схеме СВЧ усилителя HMC8205

Усилитель HMC8205, содержащий дроссели в цепях питания и смещения, разделительные конденсаторы и каскад драйвера, в мгновенной полосе частот способен отдавать в нагрузку 35 Вт при КПД суммирования мощности, достигающем 44%. В отличие от аналогичных устройств, HMC8205 может работать в режимах как импульсных, так и непрерывных колебаний.



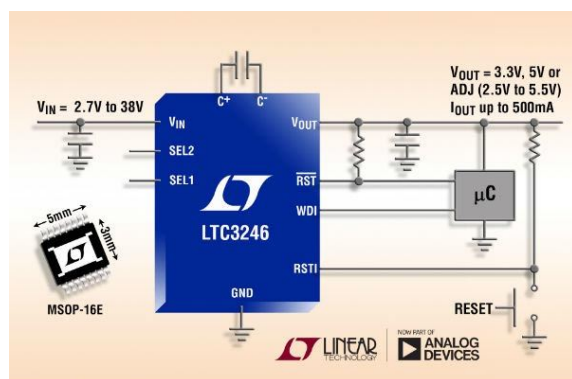
Зависимости коэффициента усиления от частоты для различных температур.

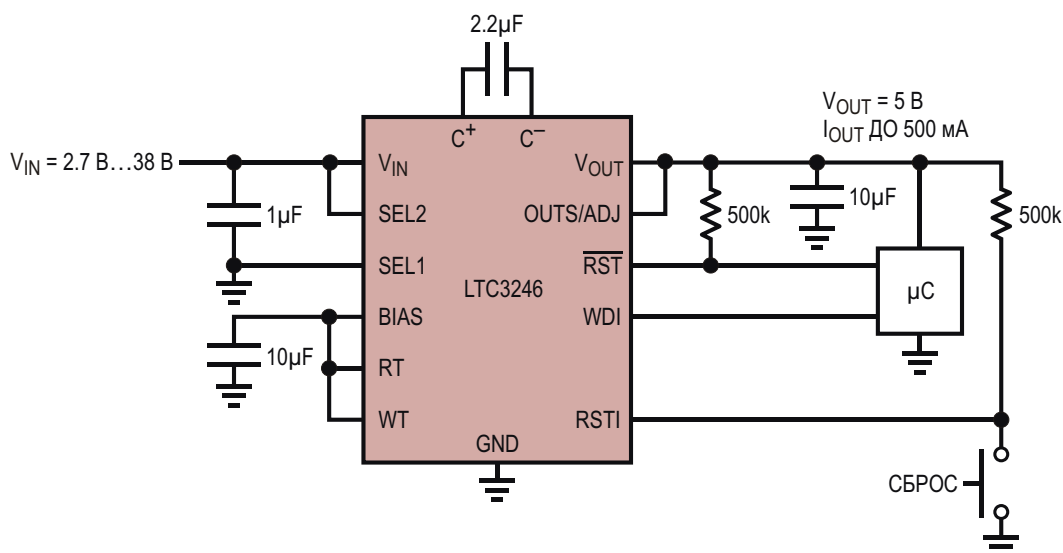
Цена и доступность

Потребителям доступны единичные образцы и промышленные партии микросхем HMC8205. В лотах из 1000 приборов цена одного усилителя составляет \$469.00.

Аnalog Devices выпускает мал шумящий понижающе-повышающий преобразователь на коммутируемых конденсаторах

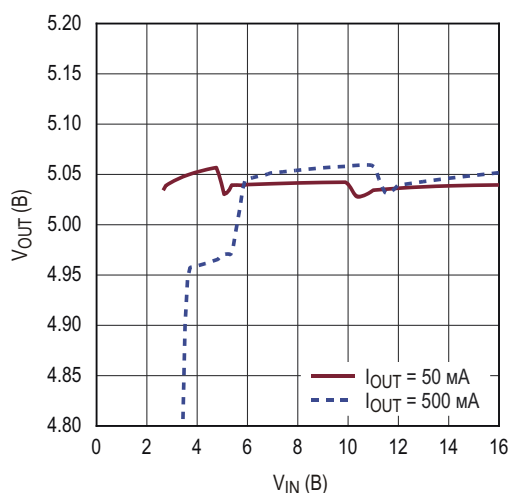
Аnalog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, сообщила о выпуске компактного мал шумящего повышающе-понижающего зарядового насоса с интегрированным сторожевым таймером, способного отдавать в нагрузку ток до 500 мА. Работа микросхемы LTC3246 основана на многорежимном преобразовании с использованием переключаемых конденсаторов, позволяющем поддерживать входные напряжения в широком диа-





Стабилизатор напряжения 5 В с кнопкой сброса.

пазоне от 2.7 В до 38 В и вырабатывать выходные стабилизированные напряжения 3.3 В, 5 В или устанавливаемые внешними резисторами любые напряжения из диапазона 2.5... 5 В.

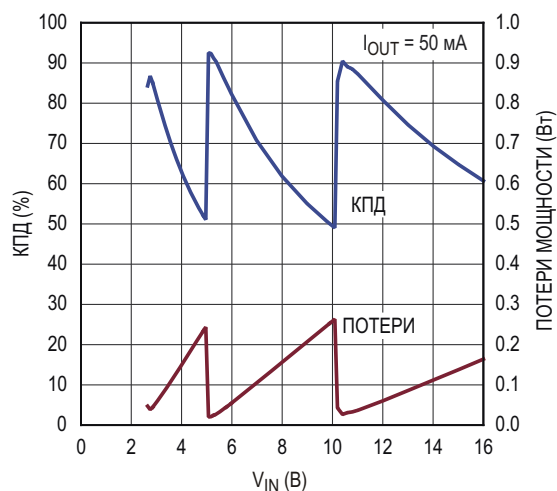


Зависимость КПД и потерь мощности от входного напряжения для преобразователя с выходным напряжением 5 В.

Внутренняя схема автоматически выбирает коэффициент преобразования 2:1, 1:1 или 1:2, оптимизируя КПД по мере изменения входного напряжения и тока нагрузки. Низкий рабочий ток (20 мкА в режиме стабилизации без нагрузки и 1.5 мкА в режиме останова), низкий уровень электромагнитных излучений и небольшое число внешних компонентов (три керамических конденсатора и

ни одной индуктивности) идеально подходят для создания маломощных и ограниченных в объеме автомобильных приложений, таких, например, как источники питания приемопередатчиков ЭБУ/CAN, равно как и для систем питания промышленных устройств или маломощных эффективных преобразователей 12 В/5 В.

Базирующаяся на переключаемых конденсаторах архитектура LTC3246, благодаря присущей ей мягкости переключения, обеспечивает пониженные уровни излучаемых шумов и помех, сравнимые с излучениями обычных импульсных регуляторов. Временные параметры генератора импульсов сброса и оконного сторожевого таймера могут



Зависимость выходного напряжения от входного напряжения.

быть заданы с помощью внешних конденсаторов, подключаемых к выводам RT и WT, или без дополнительных компонентов, соответствующей коммутацией выводов. Точный уровень порога на входе /RST может использоваться для дополнительного контроля напряжения питания или для подключения кнопки сброса. Устойчивость работы преобразователя обеспечивается простыми керамическими конденсаторами. Устройство имеет цепи прогрессирующего ограничения тока во время запуска преобразователя и защиты от короткого замыкания и перегрева.

LTC3246 выпускается в компактном 16-выводном корпусе MSOP со сниженным тепловым сопротивлением. Приборы групп E и I предназначены для использования в диапазоне рабочих температур перехода от -40°C до 125°C , группа H рассчитана на диапазон от -40°C до 150°C , а параметры микросхем группы MP гарантируются при температурах перехода от -55°C до 150°C . Все устройства имеются на складе. Цены микросхем группы E в партиях из 1000 приборов начинаются от \$3.25 за штуку.

Сводка основных характеристик LTC3246

- Диапазон рабочих напряжений от 2.7 В до 38 В (абс. максимум – 42 В);
- Собственный ток потребления 20 мкА, ток в режиме останова 1.5 мкА;
- Многорежимный повышающе-понижающий зарядовый насос (2:1, 1:1, 1:2) с автоматическим переключением режимов;
- Преобразование 12 В в 5 В с КПД равным 81%;
- Выходной ток до 500 мА;
- Фиксированные выходные напряжения 3.3 В и 5 В, или регулируемое напряжение от 2.5 В до 5 В;
- Ультранизкий уровень электромагнитных излучений;
- Прибор разработан для диагностического покрытия в системах функциональной безопасности транспортных средств стандарта ISO 26262;
- Защита от перегрева и короткого замыкания;
- Максимальная рабочая температура перехода 150°C ;
- Контроллер сброса и сторожевого таймера с внешним управлением параметрами синхронизации;
- 16-выводной корпус MSOP со сниженным тепловым сопротивлением.

Transphorm анонсирует первые в отрасли высоковольтные GaN МОП-транзисторы для автомобильных приложений

Второе поколение приборов соответствует требованиям стандарта AEC-Q101 для автомобильных приложений высокой мощности

Компания Transphorm анонсировала второе поколение своей высоковольтной нитрид-галлиевой (GaN) технологии, изготовив транзисторы, которые впервые в отрасли успешно прошли стресс-тесты на соответствие требованиям стандарта AEC-Q101 для дискретных полупроводников, используемых в устройствах автоэлектроники.

Автомобильный GaN МОП-транзистор TRN3205WSBQA в стандартном для отрасли корпусе TO-247 имеет сопротивление открытого канала 49 мОм. Прибор предназначен, прежде всего, для бортовых зарядных устройств и DC/DC систем гибридных и аккумуляторных транспортных средств. В настоящее время бортовые зарядные устройства

имеют однонаправленную структуру (AC в DC) и используют стандартные повышающие топологии. Однако, поскольку по своей природе GaN МОП-транзисторы являются двунаправленными приборами, они прекрасно подходят для безмостовых двухтактных корректоров коэффициента мощности. Таким образом, в современных двунаправленных бортовых зарядных устройствах теперь могут использоваться GaN транзисторы, что позволит сократить количество кремниевых приборов, уменьшив вес и общую стоимость системы.

Автомобильный рынок является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов промышленности силовых полупроводников, выручка которого, по прогнозам аналити-

ческой службы IHS Markit, в 2022 году составит \$3 млрд. Параметры новых приборов компании Transphorm позволяют говорить о том, что GaN транзисторы смогут закрыть потребности значительной части этого рынка. По сравнению с такими современными технологиями, как MOSFET с суперпереходом, IGBT и карбид кремния (SiC), эти приборы имеют следующие преимущества:

- Увеличение плотности мощности до 40%;
- Повышенный КПД;
- Улучшенный тепловой бюджет;
- Меньший вес системы;
- Снижение общей стоимости системы до 20%;
- Массовое производство на 6-дюймовых пластинах GaN-на-кремнии.

Благодаря перечисленным характеристикам, GaN транзисторы Transphorm могут использоваться и в других высоковольтных автомобильных устройствах DC/DC преоб-



зования, включая кондиционеры воздуха, системы обогрева, топливные насосы и усилители рулевого управления.

Доступность, цена и поддержка

600-вольтовые МОП-транзисторы TPH3205WSBQA уже выпускаются серийно в корпусах TO-247 и в партиях из 1000 приборов продаются по цене \$13.89 за штуку.

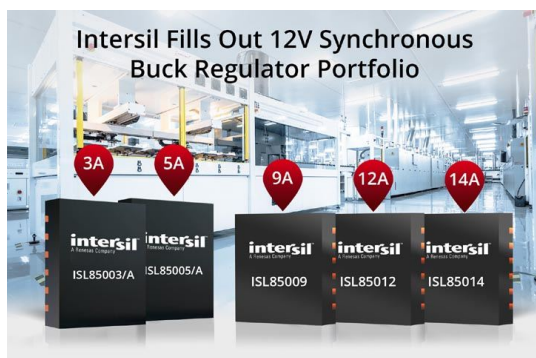
Intersil расширяет семейство 12-вольтовых синхронных понижающих стабилизаторов

Высокоинтегрированные микросхемы семейства ISL850xx предназначены для систем вторичного распределенного питания в промышленных и инфраструктурных приложениях с токами нагрузки до 14 А

Intersil, дочерняя компания корпорации Renesas Electronics, представила пять синхронных понижающих регуляторов, преобразующих в точке подключения нагрузки напряжение шины 12 В в выходные напряжения от 0.6 В, используемые для питания микропроцессоров, ПЛИС, микросхем памяти и периферийных устройств ввода/вывода. Новейшие представители семейства ISL850xx включают микросхемы ISL85014, ISL85012, ISL85009, ISL85005A и ISL85003/A. Приборы

обеспечивают непрерывные выходные токи 14 А, 12 А, 9 А и 5 А, соответственно, и могут использоваться в промышленных компьютерах, программируемых логических контроллерах, телекоммуникационном, контрольно-измерительном и серверном оборудовании, а также в сетевых хранилищах данных.

Синхронные понижающие стабилизаторы могут работать при входных напряжениях от 3.8 В до 18 В в широком диапазоне токов нагрузки, обеспечивая разработчиков полным набором надежных и высокоэффективных устройств. В совместимые по выводам стабилизаторы интегрированы MOSFET верхнего и нижнего плеча с очень низкими сопротивлениями каналов, позволяющие уменьшить количество внешних компонентов, а также увеличить срок службы приборов за счет снижения мощности потерь. Для повышения надежности и защиты системы при токовых перегрузках оба МОП-транзистора снабжены цепями ограничения прямого и



обратного тока. Высокий КПД микросхем семейства ISL850xx способствует уменьшению температуры кристалла, давая возможность конструировать системы без охлаждающих вентиляторов или радиаторов. Внутренние цепи частотной коррекции позволяют сократить число внешних компонентов, упростить разработку устройства и снизить стоимость материалов.

Один из самых миниатюрных в отрасли 14-амперных стабилизаторов ISL85014 выпускается в корпусе размером 3.5 мм × 3.5 мм, сокращающем площадь, занимаемую конечным решением на печатной плате. ISL85009 является одним из самых энергоэффективных приборов среди выпускаемых промышленностью 9-амперных понижающих преобразователей. Благодаря низким сопротивлениям каналов внутренних MOSFET, равным 17 мОм для транзистора верхнего плеча и 8.5 мОм для нижнего, существенно снижается температура кристалла, позволяя создавать приложения без систем охлаждения. Совместимые по выводам микросхемы ISL85014, ISL85012 и ISL85009 предназначены для приложений с большим током нагрузки, а 5-амперные понижающие импульсные стабилизаторы ISL85005A и ISL85005 совместимы по выводам с выпущенными ранее 3-амперными приборами ISL85003A и ISL85003.

Основные особенности и характеристики микросхем ISL85014, ISL85012 и ISL85009

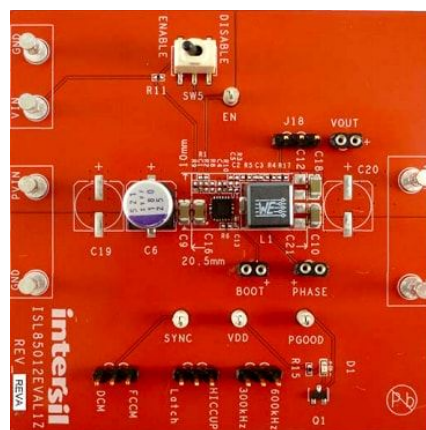
- Диапазон входных напряжений от 3.8 В до 18 В при максимальных токах нагрузки 9 А, 12 А и 14 А;
- Выходное напряжение, регулируемое от 0.6 В;
- Задержка включения и мягкий старт в течение 3 мс;
- Переключаемая частота преобразования 300 кГц/ 600 кГц или внешняя синхронизация частотой до 1 МГц;
- Режим управления по пиковому току индуктивности с термокомпенсированным порогом ограничения и возможностью выбора между внутренним и внешним вариантами частотной коррекции;
- Приборы защищены от перенапряжений на входе и выходе, содержат интегрированный бутстрепный диод с цепью обнаружения пониженного входного напряжения, а также схемы защиты от перегрузки по

току с выбором варианта дальнейшего поведения: переход в «икающий» режим или защелкивание.

Основные особенности и характеристики ISL85005A и ISL85005

- Диапазон входных напряжений от 4.5 В до 18 В при токе нагрузки до 5 А;
- Выходное напряжение, регулируемое от 0.8 В;
- Интегрированный бутстрепный диод с цепью обнаружения пониженного входного напряжения;
- Режим управления по пиковому току индуктивности с внутренним и внешним вариантами частотной коррекции;
- Предустановленная частота преобразования 500 кГц;
- Фиксированная (ISL85005) длительность мягкого старта 2.3 мс и программируемая длительность (ISL85005A) для ограничения пускового тока при включении;
- Полный набор средств защиты включает выход сигнала «Питание в норме», поцикловое ограничение тока верхнего плеча, защиту от повышенного прямого и обратного тока нижнего плеча, отключение при перегреве, блокировку при пониженном входном напряжении, а также защиту от перенапряжения на входе и выходе.

Семейство понижающих стабилизаторов ISL850xx может работать совместно с цифровыми многофазными контроллерами ISL68127 и ISL69124, а также с интеллектуальными силовыми каскадами серии ISL99227, обеспечивая компактные и высокоэффективные решения для поддержки дополнительных шин питания. Микросхемы



Плата ISL85012EVAL1Z для оценки характеристик микросхемы ISL85012.

также хорошо подходят для двухступенчатого преобразования 12 В в 5 В/3.3 В, работая совместно с такими 5-вольтовыми синхронными понижающими регуляторами Intersil, как 6-амперный ISL8026, двухканальный 3-амперный ISL8033 и 3-амперный ISL80030/31.

Цены и доступность

12-вольтовые синхронные понижающие стабилизаторы семейства ISL850xx предлагаются в 12-выводных корпусах DFN и 15-выводных корпусах TQFN. При заказе 1000 штук цена одного прибора находится в диапазоне от \$0.75 до \$2.35. Получить дополнительную информацию и заказать оценочные платы можно на сайте Intersil.

Воспользовавшись предлагаемым Intersil инструментом PowerCompass, разработчики смогут быстро подобрать стабилизаторы

ISL850xx и сопутствующие компоненты в соответствии с их конкретными требованиями, установить несколько напряжений, необходимых для питания FPGA или процессоров, выполнить высокоуровневый системный анализ и сформировать предварительный пакет конструкторских файлов.

Модель	Выходной ток	Входное напряжение	Корпус	Цена за ед. при заказе 1000 шт.
ISL85014	14 A	3.8 В...18 В	QFN 15 Выв. 3.5×3.5 мм	\$2.35
ISL85012	12 A	3.8 В...18 В	QFN 15 Выв. 3.5×3.5 мм	\$2.25
ISL85012	12 A	3.8 В...18 В	QFN 15 Выв. 3.5×3.5 мм	\$1.50
ISL85005A	5 A	4.5 В...18 В	DFN 12 Выв. 3×4 мм	\$0.77
ISL85005	5 A	4.5 В...18 В	DFN 12 Выв. 3×4 мм	\$0.75

Allegro MicroSystems анонсирует микромощный драйвер светодиодов с интегрированным переключателем на основе эффекта Холла

Эlegantное однокристалльное решение для светодиодного освещения

Allegro MicroSystems объявила о начале массового производства микросхемы микромощного драйвера светодиодов с интегрированным переключателем на основе датчика Холла. APS13568 позволит создавать компактные, элегантные, надежные и отказоустойчивые системы светодиодного освещения с минимальными затратами компонентов, денег и инженерных ресурсов. На одном кристалле кремния объединены микромощный регулятор напряжения, датчик Холла, мало-сигнальный усилитель, МДМ цепь стабилизации, триггер Шмитта, блок выбора выходной полярности и драйвер светодиодов со схе-

мой мягкого включения/выключения и защитой от короткого замыкания и перегрева с автовосстановлением. Интегрированный твердотельный ключ на основе датчика Холла обеспечивает бесшумную, герметичную, бесконтактную активацию, потребляет очень низкий ток в состоянии покоя (менее 50 мкА), и может стать перспективной заменой подверженным поломкам механическим переключателям.

Малошумящий регулируемый линейный драйвер может отдавать ток до 150 мА в один или несколько светодиодов. С помощью внешнего конденсатора можно программировать скорость нарастания и спада напряжения при включении и выключении. Регулятор управляется переключателем на эффекте Холла, включаясь и выключаясь в ответ на приближение магнита. Переключатель на эффекте Холла мультиполярен (реагирует как на северный, так и на южный полюс магнита) и очень чувствителен (типовое значение пороговой магнитной индукции равно 40 Гс), что расширяет диапазон возможных механических конфигураций и конструкций корпусов



с различными величинами воздушных зазоров и разной степенью рассогласования взаимного положения элементов. В микросхеме AP13568 предусмотрено управление полярностью выходного сигнала, а также имеется выход с открытым стоком для подключения к дополнительным внешним цепям.

Новое устройство расширяет уже выпускаемые компанией Allegro семейства драйверов светодиодов и переключателей на эффекте Холла, добавляя к ним внешний выход и микромощный режим работы с током потребления менее 50 мкА. Микросхема предназначена для устройств потребительской электроники, бытовых товаров, лодок и мотоциклов, а также для приложений внутреннего и вспомогательного автомобильного освещения, таких как перчаточные ящики, приборные панели, зеркала в противосолнечных козырьках, багажники, грузовые прицепы и т.д. Встроенный микромощный стабилизатор рассчитан на напряжения питания от 7 В до 24 В и потребляет очень низкий ток при

отключенном выходе. Надежность и параметры электромагнитной совместимости улучшены за счет использования ограничивающих стабилитронов, цепей защиты от коротких замыканий выхода и переплюсовки батареи и схемы отключения при перегреве кристалла. Динамическая компенсация смещения позволила повысить характеристики элемента Холла, значительно снизив остаточное напряжение смещения, обычно обусловленное внутренними напряжениями корпуса и температурным дрейфом.

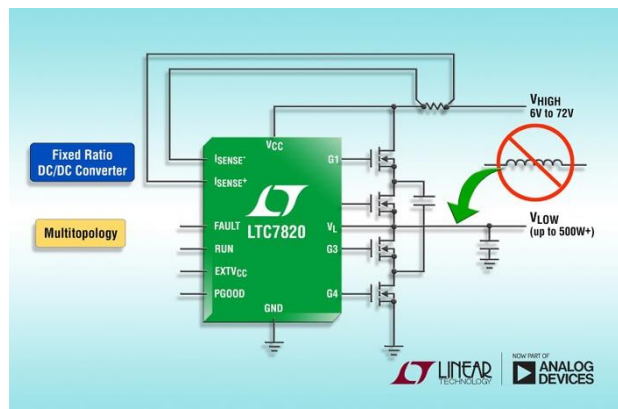
Микросхема выпускается в двух версиях. Группа «К» соответствует требованиям автомобильного стандарта AEC-Q100 и работает в диапазоне температур от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Приборы группы «Е» предназначены для промышленных и потребительских приложений, работающих в температурном диапазоне от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Обе версии выпускаются в 8-выводном корпусе SOIC с вскрытой теплоотводящей площадкой (суффикс «LJ»), отвечающем требованиям директивы RoHS.

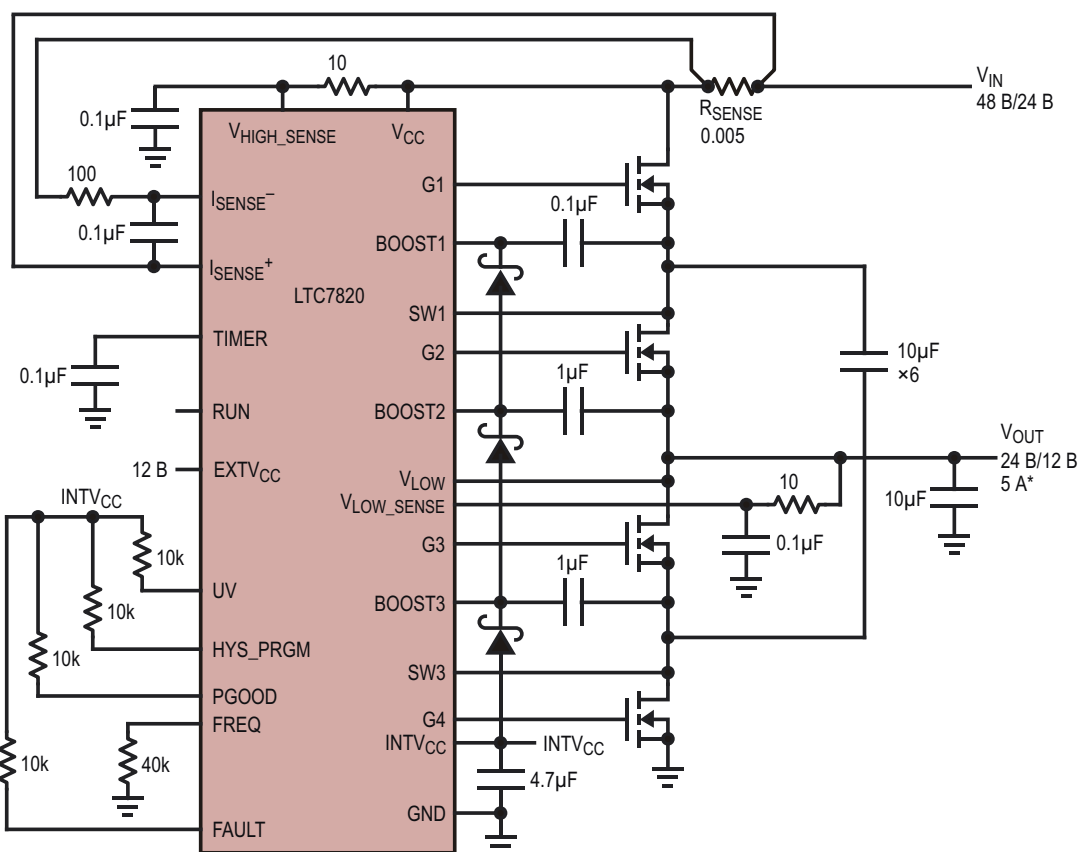
В преобразователях напряжения промежуточных шин питания безындуктивный DC/DC контроллер отдает в нагрузку 500 Вт

Analog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, анонсировала выпуск микросхемы LTC7820 – контроллера мощного DC/DC преобразователя на переключаемых конденсаторах, использование которого в неизолированных приложениях промежуточной шины позволит исключить из схемы силовой дроссель, до 50% сократить размеры решения и увеличить плотность мощности до 4000 Вт/дюйм³. LTC7820 управляет внешними MOSFET в конфигурациях делителя, удво-

ителя или инвертора напряжения с КПД, достигающим 99%. Его архитектура, поддерживающая работу без обратной связи на фиксированной частоте переключения, идеальна для неизолированных преобразователей напряжения промежуточных шин питания в распределительных, сетевых, телекоммуникационных, вычислительных и промышленных системах.

LTC7820 работает при входных напряжениях от 6 В до 72 В (максимальное значение 80 В) и, в зависимости от топологии и выбора внешних компонентов, может управлять выходными токами до нескольких десятков ампер. В одной из нескольких возможных конфигураций прибор может работать как понижающий преобразователь 2:1 входного напряжения до 72 В. При необходимости четырехкратного понижения напряжения две микросхемы LTC7820 можно включить каскадно. Для еще более высоких коэффициентов понижения, скажем, для 6:1, рекомендуется топология Диксона, позволяющая с помощью единственной микросхемы LTC7820 преобразовать входное напряжение 54 В в выходное



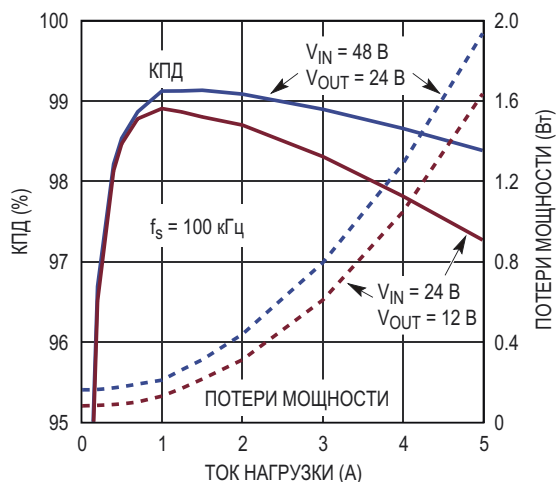


5-амперный делитель напряжения с очень высоким КПД.

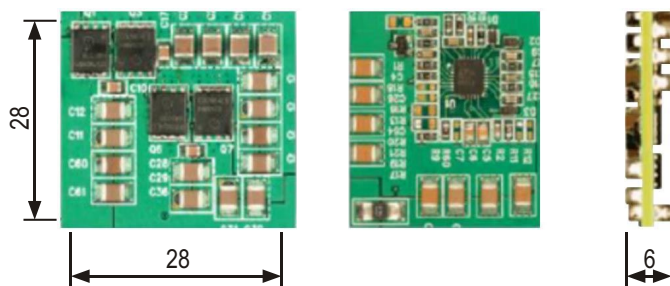
напряжение 9 В. Кроме того, LTC7820 может быть сконфигурирована как повышающий преобразователь 1:2 или инвертор (1:1) входного напряжения до 36 В. Внешние MOSFET коммутируются на фиксированной частоте, программируемой от 100 кГц до 1 МГц. Интегрированные в LTC7820 мощные MOSFET драйверов затворов с сопротивлениями

открытых каналов 1.1 Ом обеспечивают высокий КПД и в приложениях повышенной мощности могут управлять группами параллельно включенных MOSFET.

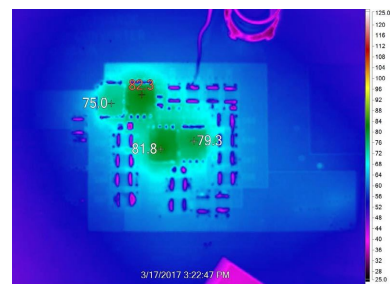
LTC7820 контролирует напряжение системы, ток нагрузки и температуру, и использует внешний токоизмерительный резистор для защиты от перегрузки. При возникновении неисправности устройство останавливает работу преобразователя и выставляет сигнал низкого уровня на выводе FAULT. Для установления времени перезапуска или выполнения повторной попытки может использоваться интегрированный таймер. Для снижения рассеиваемой мощности и улучшения КПД предусмотрен вывод EXTVCC, позволяющий питать LTC7820 от более низкого выходного напряжения преобразователя или от отдельного источника с напряжением до 40 В. Дополнительные функции микросхемы включают мягкий запуск для снижения уровня электромагнитных излучений, блокировку при пониженном напряжении и внутреннюю схему балансировки зарядов.



Зависимость КПД и потерь мощности от тока нагрузки.



Демонстрационная плата DC2543A понижающего преобразователя 2:1 на основе микросхемы LTC7820. 36 В V_{IN} 60 В, $V_{OUT} = 0.5V_{IN}$ при выходном токе до 20 А.



Тепловой портрет платы DC2543A. $V_{IN} = 48$ В, $V_{OUT} = 24$ В, $I_{OUT} = 20$ А, $T_A = 23$ °С. Охлаждение естественное.

LTC7820 выпускается в корпусе QFN-28 размером 4 мм × 5 мм. Доступны версии для работы в расширенном и промышленном диапазонах температур от –40 до 125 °С. В партиях из 1000 приборов цена одной микросхемы начинается от \$4.70.

Сводка основных характеристик LTC7820

- Широкий диапазон входных напряжений: 6 В ... 72 В, максимально допустимое значение 80 В;
- Плотность мощности до 4000 Вт/дюйм³;
- КПД до 99%;
- Понижающий преобразователь: отношение напряжений 2:1 при входном напряжении до 72 В;
- При использовании топологии преобразователя Диксона отношение входного напряжения к выходному равно 6:1;
- Повышающий преобразователь: отношение напряжений 1:2 при входном напряжении до 36 В;
- Инвертор: отношение напряжений 1:1 при входном напряжении до 36 В;
- Управление мощностью до 500 Вт;
- Рабочая частота от 100 кГц до 1 МГц;
- Мягкая коммутация для снижения уровня электромагнитных излучений;
- Четыре драйвера затворов мощных N-канальных MOSFET;
- Датчик входного тока и защита от перегрузки;
- Защита от короткого замыкания с программируемым временем выполнения повторной попытки;
- Выходной сигнал «Питание в норме»;
- 28-выводной корпус QFN с размерами 4 мм × 5 мм.

Новый автомобильный драйвер светодиодов компании Maxim стал первым прибором, сочетающим сверхвысокое быстродействие с низким уровнем излучаемых помех

С микросхемой MAX20078 современные приложения внешнего освещения автомобилей станут совершеннее, проще в разработке и быстрее пройдут путь до рынка

Разработанный компанией Maxim Integrated Products контроллер синхронного понижающего преобразователя питания светодиодов высокой яркости MAX20078 стал первым в отрасли устройством для внешних световых приборов автомобилей, в котором высокая скорость отклика сочетается с низким уровнем электромагнитных излучений. Идеально соответствуя требованиям, предъ-

являемым к схемам управления матричных светильников, контроллер светодиодов позволит разработчикам улучшить характеристики, упростить конструирование и ускорить выход продукции на рынок.

В современных приложениях освещения, таких как матричные светильники или драйверы и контроллеры светодиодов, при высокой скорости коммутации светодиодов могут



возникать проблемы, связанные с бросками и провалами тока. Подобные приложения сложны в разработке, поскольку плотная концентрация большого количества светодиодов на малой площади существенно затрудняет борьбу с электромагнитными излучениями. Чтобы снизить уровни электромагнитных излучений, автопроизводители тратят много времени, денег и сил, экспериментируя с различными топологиями схемы и методами фильтрации.

Ультрабыстрый отклик MAX20078 обеспечивает более гладкие характеристики переходных процессов. Благодаря отсутствию необходимости во внешних компонентах частотной коррекции, расширяется диапазон диммирования. В микросхеме интегрированы цепи защиты от неисправностей и схемы контроля состояния прибора. MAX20078

позволяет коммутировать светодиоды с высокой скоростью и низким уровнем излучаемых электромагнитных помех, и разработчикам больше не нужно одно приносить в жертву другому. Перечисленные преимущества, а также более простая конструкция и гибкое управление частотой коммутации, сократят время от начала разработки изделия до его выхода на рынок.

Ключевые преимущества преобразователя

Высокие технические характеристики:

Сверхмалые времена отклика для современных светотехнических конструкций.

Простота разработки:

Низкий уровень электромагнитных излучений, внутренние цепи частотной компенсации петли ОС, не требующие внешних компонентов, и частота переключения, программируемая в диапазоне от 100 кГц до 1 МГц.

Быстрый выход продукта на рынок:

Интеграция большого числа компонентов и программируемая частота переключения для простоты и гибкости конструкции.

Доступность

Для приобретения микросхем MAX20078 и оценочных наборов MAX20078EVKIT необходимо обращаться к компании Maxim Integrated Products.

Alpha and Omega Semiconductor расширила семейство EZBuck 5-амперным DC/DC регулятором

Новый синхронный понижающий стабилизатор с увеличенным КПД при легкой нагрузке и более низким выходным напряжением

Alpha and Omega Semiconductor анонсировала выпуск микросхемы AOZ6605 – высокоэффективного и простого в использовании синхронного понижающего стабилизатора с частотой переключения ШИМ 650 кГц и диапазоном входных напряжений от 4.5 В до 18 В. Это решение идеально для потребительских, сетевых и промышленных приложений, таких как ЖК телевизоры, телеприставки, кабельные модемы и источники питания.

Микросхема AOZ6605, дополняющая линейку совместимых по выводам стабилизаторов семейства EZBuck, содержит MOSFET верхнего и нижнего плеча с сопро-



тивлениями каналов, соответственно, 55 мОм и 12 мОм и обеспечивает длительный выходной ток 5 А с КПД более 90%, сохраняя КПД на уровне 86% при снижении тока нагрузки до 10 мА.

Для сохранения высокого КПД при легкой нагрузке AOZ6605 переключается в режим пропуска импульсов ШИМ. При постоянной высокой нагрузке стабилизатор работает в

режиме непрерывной проводимости с постоянной частотой преобразования.

Цена и доступность

Микросхема AOZ6605 освоена в массовом производстве и поставляется в течение 12 недель после подтверждения заказа. При покупке 1000 единиц стоимость одного устройства составит \$1.30.

Технические характеристики

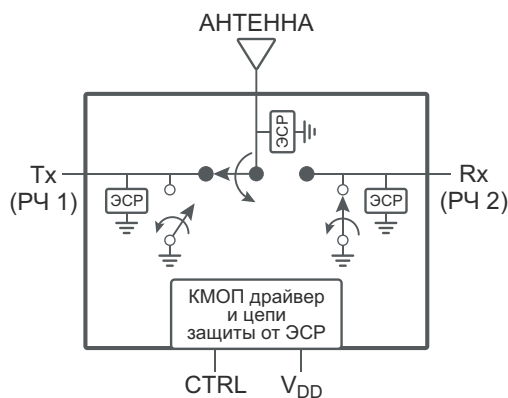
	AOZ6605	Основной конкурент
Диапазон входных напряжений	4.5 В ... 18 В	4.5 В ... 18 В
Сопротивление открытого канала MOSFET (тип.)	Верхнее плечо: 55 мОм Нижнее плечо: 12 мОм	Верхнее плечо: 68 мОм Нижнее плечо: 37 мОм
Корпус	Сейчас	Сейчас
КПД (при выходном токе 5 А)	Сейчас	Сейчас
Температура (при выходном токе 5 А)	Сейчас	Сейчас

Peregrine Semiconductor представляет мощный радиочастотный коммутатор для защиты приемных трактов

Миниатюрный радиочастотный переключатель PE42823, идеальный для высококачественных приложений беспроводной инфраструктуры

Компания Peregrine Semiconductor представила радиочастотный ключ PE42823, выполненный по технологии UltraCMOS и предназначенный для защиты мощных входных цепей приемников в приложениях беспроводной инфраструктуры. Отражающий переключатель сигналов оптимизирован для перспективных архитектур радиоустройств, таких, например, как многоканальные по входу и выходу системы (MIMO). PE42823 выдерживает большие однократные броски входной мощности, потребляет очень небольшой ток и имеет высокую линейность. Компактный, но коммутирующий высокую

мощность, переключатель содержит встроенные цепи защиты от электростатических разрядов, что является основным требованием для высоконадежных устройств.



Функциональная схема PE42823.



Защитные переключатели приемников используются для исключения повреждения системы при отключенной антенне, что может происходить во время монтажа, в случае неисправности или при непредвиденных бросках мощности. PE42823 предназначен для надежного контроля отраженной мощности и

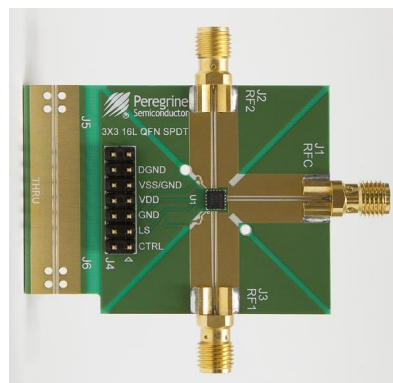
защиты приемных систем от повреждений. В отличие от решений на pin-диодах, PE42823 не нуждается во внешних компонентах согласования, позволяя сократить размеры печатной платы и снизить стоимость материалов. Мощным коммутаторам, основанным на pin-диодах, требуются различные постоянные напряжения смещения, а также нескольких дискретных компонентов и специализированная микросхема драйвера для передачи управляющих сигналов в цепи, находящиеся под различными напряжениями.

Особенности, корпус, цена и доступность.

Охватывающий широкий диапазон частот от 700 МГц до 6 ГГц отражающий однополюсный двухпозиционный переключатель PE42823 ориентирован на использование в мощных высококачественных приложениях беспроводной инфраструктуры. Отличная устойчивость коммутатора защиты радиочастотных цепей к броскам мощности позволяет ему выдерживать пиковые сигналы до 51 дБм в полосе LTE. Прибор потребляет ток всего 120 мкА и отличается исключительной линейностью во всем диапазоне частот. Входные точки пересечения интермодуляции третьего (IIP3) и второго (IIP2) порядка расположены на уровнях 70 дБм и 105 дБм, соответственно. На частоте 2.7 ГГц уровень изоляции переключателя составляет 43 дБ в тракте приема и 34 дБ в тракте передачи. Между высокочастотными выводами PE42823 и землей встроены цепи защиты от электростатических разрядов, рассчитанные на воздействие модели человеческого тела с напряжением 4.5 кВ. Диапазон рабочих температур устройства расширен до 105 °С.

Коммутаторы освоены в массовом производстве и предлагаются в 16-выводных кор-

пусах QFN размером 3 × 3 × 0.75 мм. Доступны также оценочные наборы. В партиях из 10,000 приборов одна микросхема PE42823 продается по цене \$5.43.



Оценочный набор для однополюсного высокочастотного коммутатора PE42823.

Технические характеристики PE42823

- Диапазон частот: 700 МГц ... 6 ГГц;
- Устойчивость к однократным броскам мощности: 51 дБм LTE;
- Низкий ток потребления: 120 мкА;
- Высокая линейность:
 - IIP3: 70 дБм,
 - IIP2: 105 дБм;
- Хорошая развязка:
 - Rx: 43 дБ на частоте 2.7 ГГц,
 - Tx: 34 дБ на частоте 2.7 ГГц;
- Встроенная защита от электростатических разрядов: 4.5 кВ при воздействии модели человеческого тела;
- Диапазон рабочих температур: –40 °С ... +105 °С;
- Корпус: 16-выводной QFN, 3 × 3 × 0.75 мм.

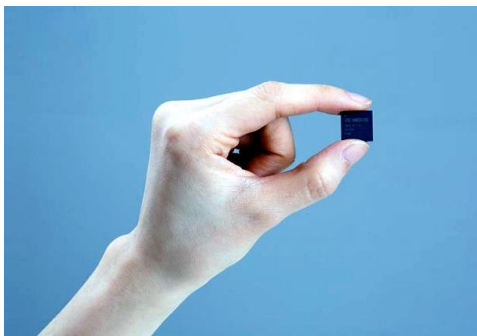
Seoul Semiconductor разработала самые миниатюрные в мире 24-ваттные драйверы светодиодов

Светодиодные драйверы с отсечкой фазы серии NanoDriver имеют размеры всего 13.5 мм × 13.5 мм × 1.42 мм

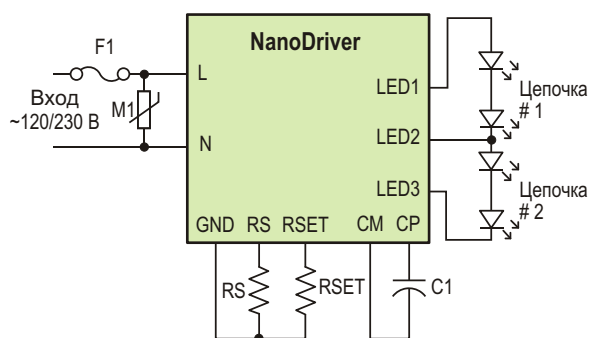
Seoul Semiconductor разработала семейство миниатюрных светодиодных диммеров с отсечкой фазы, плотность мощности которых на порядок превосходит традиционные драйверы светодиодов. Самые миниатюр-

ные в мире преобразователи семейства NanoDriver шириной всего 13.5 мм выпускаются в четырех вариантах с номинальной мощностью 16 Вт или 24 Вт и входным напряжением 120 В/230 В промышленной частоты

50...60 Гц. Особенностью приборов серии NanoDriver, изготавливаемых по созданной Seoul Semiconductor оригинальной технологии Acrich, является непосредственный монтаж кристалла на подложку, кардинально снижающий размеры преобразователя.



В будущем Seoul Semiconductor планирует также начать производство высокоэффективных светодиодных драйверов серии MicroDriver для светильников со световым потоком от 900 до 2400 лм. Миниатюрные корпуса драйверов MicroDriver позволят уменьшить размеры преобразователя более чем в десять раз, обеспечивая интеграцию схемы управления с внешним драйвером, за счет которой можно установить больше источников света на печатной плате и сократить ее размеры.



Типовая схема включения.

При размерах корпуса всего 13.5 мм × 13.5 мм × 1.42 мм и минимальном количестве внешних компонентов микросхемы серии NanoDriver могут отдавать в нагрузку мощность 16 Вт или 24 Вт. Эти драйверы идеальны для потолочных, утапливаемых, трековых и точечных светильников. Их небольшие размеры позволяют создавать ультра тонкие и новаторские конструкции настенных бра, позволяя заменять в них обычные лампы без

необходимости в объемной выемке для размещения драйвера или без уменьшения светотдачи.

Снижение физических размеров драйверов светодиодов окажет существенное влияние на светотехническую промышленность, давая разработчикам возможность уменьшить размеры светильников до 20 раз, что, помимо прочего, снизит затраты на транспортировку и хранение. Из-за большого веса и размеров обычных драйверов светодиодов азиатские изготовители, как правило, доставляют их светотехническим компаниям Европы и Северной Америки с помощью морского транспорта, затрачивая на это до шести недель. Приборы серии NanoDriver достаточно малы и легки, чтобы использование воздушного транспорта стало практичным и экономичным, делая общую логистическую цепочку более гибкой и эффективной.

Серия NanoDriver представлена четырьмя моделями с выходной мощностью 16 Вт и 24 Вт, предназначенными для работы при входных напряжениях 120 В/230 В (50...60 Гц). Типовое значение КПД драйверов равно 85%, коэффициент мощности превышает 0.9, а пусковой бросок тока составляет менее 30 мА. Цепь тепловой защиты ограничивает ток светодиода при температуре кристалла свыше 160 °С. Драйверы рассчитаны на эксплуатацию в диапазоне температур окружающей среды от -40 °С до +70 °С при допустимой температуре корпуса -40 °С ... +120 °С.



Драйверы, получившие сертификат организации UL, обеспечивают свободное от мерцаний фазовое управление с низким уровнем пульсаций тока и соответствуют перечню требований, установленному стандартом Title 24 Калифорнийской энергетической комиссии,

позволяя конструкторам осветительных приборов соблюдать большинство технических требований в части низкого мерцания, большого коэффициента мощности, уровня электромагнитных излучений (Класса В) и устойчивости к броскам напряжения до 2 кВ.

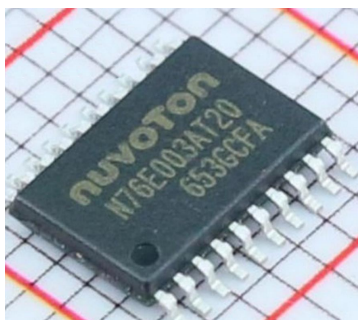
Драйверы светодиодов серии NanoDriver доступны для немедленной отгрузки со склада Seoul Semiconductor.

Драйверы светодиодов серии NanoDriver

Прибор	Входное напряжение [В]	Выходная мощность [Вт]
SMJR-N-1-16	120	16
SMJR-N-1-24	120	24
SMJR-N-2-16	230	16
SMJR-N-2-24	230	24

Nuvoton предлагает новый высокоэффективный микроконтроллер семейства 1T 8051

Тайваньская компания Nuvoton Technology анонсировала выпуск нового поколения высокоэффективных микроконтроллеров семейства 1T 8051 – микросхем серии N76E003. В дополнение к 18 КБ флеш-памяти и 1 КБ СОЗУ N76E003 содержат внутренний прецизионный источник опорного напряжения. Миниатюрные корпуса помогут потребителям сократить размеры как печатной платы, так и конечного изделия. N76E003 может найти широкое применение во множестве приложений, таких как зарядные устройства аккумуляторов, звуковые карты, устройства светодиодного освещения, контроллеры мелкой бытовой техники, термостаты и датчики дыма.



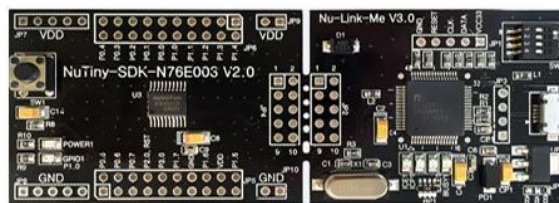
Устройство, рассчитанное на работу в широком диапазоне напряжений питания от 2.4 В до 5.5 В при температуре -40°C ... 105°C , устойчиво к быстрым переходным процессам до ± 4 кВ и электростатическим разрядам до ± 8 кВ. В N76E003 встроены 6 модулей ШИМ, RC-генератор 16 МГц с точностью $\pm 2\%$, сохраняющейся во всех допустимых условиях эксплуатации, низкоскоростной генератор 10 кГц, вход RESET, мультиплексированный с выводом порта общего назначения, два комплекта UART, интерфейс I²C, 8-канальный 12-битный АЦП с частотой

выборки 300 кГц и цепь самопробуждения. Такой богатый набор функций делает конструкцию конечного продукта исключительно гибкой.

Прошивка микроконтроллера и постоянные данные легко обновляются средствами внутрисхемного программирования. Соответствующие параметры настройки и константы могут быть запрограммированы на этапе производства и сохраняться при выключенном питании.

Средства поддержки разработки

Для создания продуктов на основе N76E003 Nuvoton предлагает потребителям удобные и простые в использовании полнофункциональные системы разработки. В комплекте с полным набором средств эмуляции и отладки может быть заказана онлайн новейшая оценочная плата NT-N76E003. Кроме того, для микроконтроллеров N76E003 Nuvoton выпускает автономный программатор Nu-Link, предназначенный для упрощения обслуживания и обновления прошивок на этапе опытного производства.



Оценочная плата NT-N76E003.

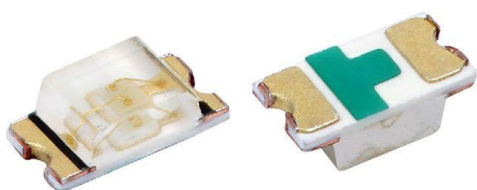
Корпуса и доступность

Потребителям доступны как единичные образцы, так и промышленные партии N76E003. Приборы поставляются в 20-выводных корпусах TSSOP20 размером 4.4 мм × 6.5 мм и QFN20 с размерами 3 мм × 3 мм.

Миниатюрные истинно-зеленые светодиоды Vishay Intertechnology позволят снизить размеры конечных продуктов

Устройства в миниатюрном сверхтонком корпусе толщиной 0.55 мм обеспечивают силу света 2800 мкд

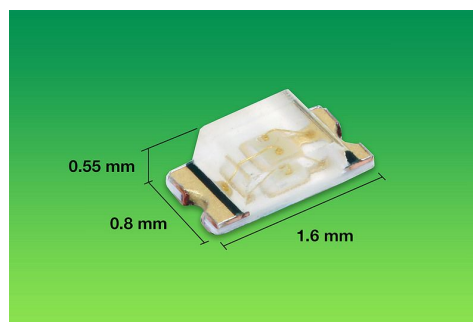
Оптоэлектронное подразделение компании Vishay Intertechnology представило новую серию истинно-зеленых светодиодов в компактном корпусе ChipLED типоразмера 0603. Устройства серии VLMTG1400 с размерами 1.6 мм × 0.8 мм и сверхмалой толщиной 0.55 мм созданы на основе новейшей InGaN технологии ультраярких приборов, позволяющей достичь уровня яркости 2800 мкд.



Благодаря высокой яркости и малым размерам, SMD приборы будут отличным выбором для малоразмерных продуктов и смогут надежно работать в самых сложных условиях. Светодиоды найдут применение в устройствах подсветки клавиатур и дисплеев навигационных систем, в сотовых телефонах, системах управления производственными процессами, в дорожных указателях и информационных табло.

Сила света приборов серии VLMTG1400 при токе 20 мА находится в диапазоне от 1200 мкд до 2800 мкд, типовая длина волны

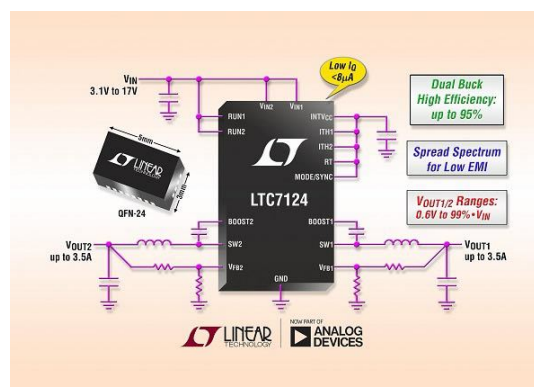
излучения равна 525 нм, а прямое падение напряжения имеет разброс от 2.75 В до 3.2 В. Устройства, группируемые по значениям силы света, длины волны и прямого напряжения, обеспечивают излучение в сверхшироком угле 146°. Поставляемые в 8-миллиметровой блистерной ленте светодиоды не содержат галогенов, соответствуют требованиям директивы RoHS и экологической инициативы Vishay Green, допускают пайку инфракрасным оплавлением припоя с преднагревом согласно Уровню 2а стандарта JEDEC.

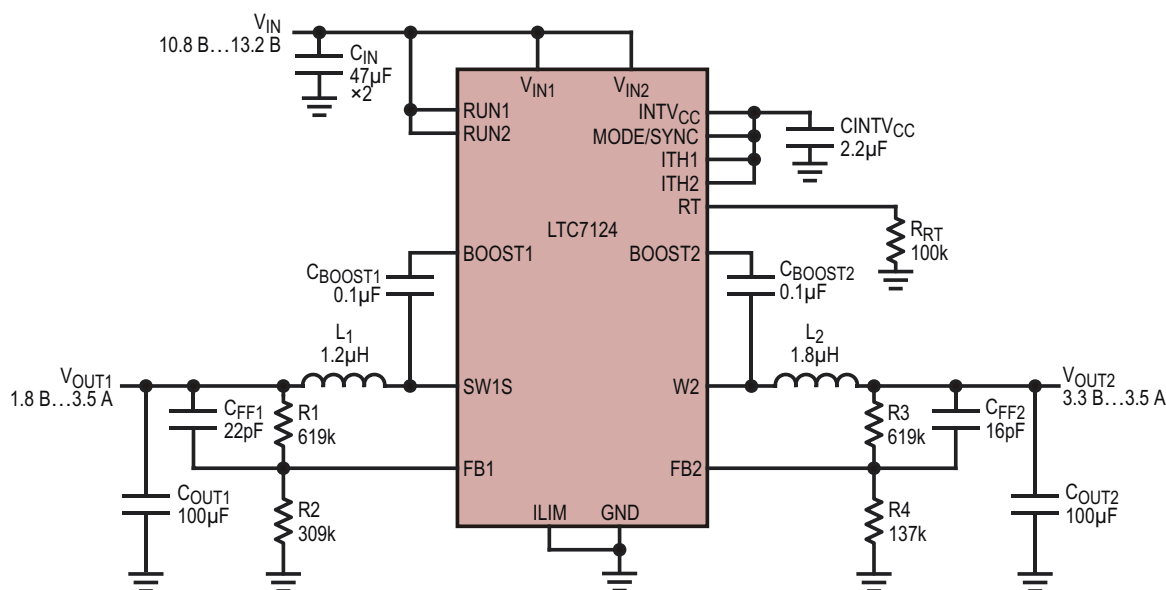


В настоящее время доступны как единичные образцы, так и промышленные партии приборов VLMTG1400. Сорок выполнения заказов большого объема составляет восемь недель.

Высокоэффективный двухканальный синхронный понижающий преобразователь Analog Devices работает на частоте до 4 МГц

Analog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, сообщает о выпуске высокоэффективного двухканального синхронного понижающего преобразователя LTC7124, работающего на постоянной частоте до 4 МГц со стабилизацией по пиковому току индуктивности. Для снижения помех излучения и проводимости интегрирована дополнительная функция частотной модуляции шумоподобным сигналом. Компактное устройство в корпусе размером 3 мм × 5 мм может из каж-



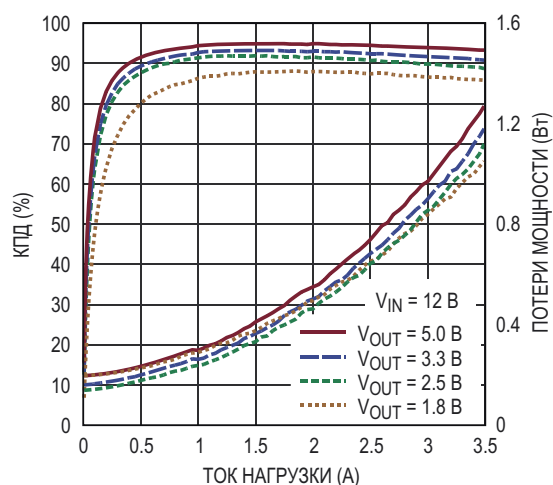


Понижающий регулятор 1.8 В/3.3 В с частотой переключения 1 МГц.

дого канала отдавать в нагрузку непрерывный ток до 3.5 А, или же, при соответствующем изменении конфигурации, выполнять функцию одноканального двухфазного преобразователя с выходным током до 7 А. Частота переключения программируется пользователем в диапазоне от 500 кГц до 4 МГц, позволяя использовать крошечные дешевые конденсаторы и индуктивности. Для чувствительных к помехам приложений предусмотрена также возможность внешней синхронизации. LTC7124 работает при входных напряжениях от 3.1 В до 17 В, а диапазон выходных напряжений, стабилизируемых с точностью $\pm 1\%$, может составлять от 0.6 В до 99% входного напряжения. Приборы идеально подходят для приложений с питанием от 1-4-элементных Li-Ion батарей, а также для систем с промежуточными шинами питания 5 В и 12 В. Среди других важнейших областей применения новых микросхем могут быть системы с батарейным питанием, преобразователи напряжения для точек подключения нагрузки, портативные измерительные приборы и ручные сканеры.

В каждом канале LTC7124 имеются интегрированные ключи на основе N-канальных MOSFET с сопротивлениями открытых каналов всего 80 мОм и 40 мОм, обеспечивающие КПД до 95%. Два канала работают противофазно со сдвигом 180°, минимизируя размеры как входных, так и выходных конденсаторов.

В устанавливаемом по выбору пользователя пульсирующем режиме, используемом для увеличения КПД при легких нагрузках, микросхема потребляет всего 8 мкА, когда разрешена работа обоих каналов, и 5.5 мкА при отключении одного из каналов. Для приложений с особо строгими требованиями к уровню шумов LTC7124 можно сконфигурировать для работы в принудительном режиме непрерывной проводимости, уменьшающем пульсации выходного напряжения и снижающем вероятность возникновения радиочастотных помех. Следует также отметить наличие защиты от перенапряжения по входу



Зависимость КПД и потерь мощности от тока нагрузки при частоте синхронизации 1 МГц.

и от перегрева кристалла, монитор выходного напряжения, независимое управление параметрами мягкого запуска для каждого канала, возможность выбора между внутренними и внешними цепями частотной коррекции, программируемые пороги ограничения тока и защиту от коротких замыканий.

LTC7124 выпускается в корпусе QFN-24 размером 3 мм × 5 мм со сниженным тепловым сопротивлением. Характеристики микросхем групп E и I гарантируются в диапазоне рабочих температур перехода от –40 °С до 125 °С. Микросхемы группы E в партиях из 1000 приборов продаются по цене \$4.05 за штуку. Все преобразователи имеются в наличии на складе компании.

Сводка основных характеристик LTC7124

- Широкий диапазон входных напряжений (V_{IN}): от 3.1 В до 17 В;
- Широкий диапазон выходных напряжений: от 0.6 В до $0.99 V_{IN}$;
- Два понижающих выхода с токами нагрузки до 3.5 А;
- Модуляция шумоподобным сигналом для снижения помех излучения и проводимости;
- Интегрированные N-канальные MOSFET с сопротивлениями открытых каналов 80 мОм/ 40 мОм обеспечивают КПД до 95%;
- Ток потребления без нагрузки 8 мкА при разрешенной работе обоих каналов и 5.5 мкА при отключении одного канала;
- Программируемая частота переключения (от 500 кГц до 4 МГц) с возможностью синхронизации от внешнего генератора;
- Возможность включения в конфигурации одноканального двухфазного преобразователя с выходным током до 7 А;
- Точность стабилизации выходного напряжения $\pm 1\%$;
- Режим стабилизации по току индуктивности, обеспечивающий отличную скорость отклика на скачки входного напряжения и тока нагрузки;
- Внутренняя или внешняя цепи частотной коррекции;
- Корпус QFN-24 размером 3 мм × 5 мм со сниженным тепловым сопротивлением.

Dialog Semiconductor представила первую микросхему интерфейса USB-PD, оптимизированную для зарядных устройств

С новой интерфейсной микросхемой iW656, требующей меньше внешних компонентов и места на печатной плате, конструкции станут проще и дешевле

Dialog Semiconductor представила первую на рынке микросхему интерфейса USB Power Delivery (USB-PD), основанную на машине состояний. Микросхема iW656 позволяет конструкторам разрабатывать высокоэффективные и отвечающие всем существующим стандартам устройства быстрой зарядки, обеспечивающие высокую плотность мощности для компактных зарядных устройств.



Контроллер iW656, поддерживающий приложения быстрой зарядки в AC/DC адаптерах для смартфонов, планшетных компьютеров и других портативных вычислительных устройствах, совместим с последним стандартом USB Type-C.

Разработанный специально для удовлетворения потребностей пользователей в современных адаптерах, новый контроллер Dialog, основанный на машине состояний, позволяет намного упростить конструкции сетевых адаптеров по сравнению с традиционными решениями, в которых используются микроконтроллеры. В то время как другим решениям обычно требуется большое количество внешних компонентов, основанной на конечном автомате микросхеме iW656, создававшейся для более миниатюрных и компактных конструкций, их нужно намного меньше, что делает конечное изделие более простым и дешевым. Приложения смогут в

полной мере использовать все преимущества, предоставляемые USB-PD – технологией, способной передавать портативным устройствам больше энергии за меньшее время, чем предыдущие технологии зарядки от порта USB.

Вместе с выпускаемыми Dialog лучшими на рынке микросхемами контроллеров AC/DC новая микросхема USB-PD образует законченный оптимизированный чипсет для

сетевых адаптеров. Кроме того, iW656 поддерживает и другие протоколы быстрой зарядки, включая Samsung Adaptive Fast Charge (AFC) и Qualcomm Quick Charge 2.0.

iW656 выпускается в 12-выводном корпусе TDFN с размерами всего 3 мм × 3 мм. В настоящее время доступны единичные образцы микросхемы, которые можно приобрести через дистрибьюторскую компанию Avnet.

Ассоциация РАМЭМС

и развитие рынка микроэлектромеханических систем в России



Юрий Петропавловский

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) представляют собой миниатюрные конструкции, объединяющие механические и электронные компоненты и выполненные в едином процессе по полупроводниковым технологическим нормам от 1 мкм до 0.1 мм. Как правило, в МЭМС-устройствах сконцентрировано множество микроустройств самых различных конфигураций. В отличие от большинства микросхем, МЭМС способны взаимодействовать с различными внешними средами и полями. Сферы применения современных МЭМС чрезвычайно разнообразны – от простых датчиков физических величин до интеллектуальных чипов медицинского назначения.

Производство микроэлектромеханических устройств во всем мире постоянно растет. Россия в этой области пока отстает от стран Запада и Юго-Восточной Азии. Однако актуальность проблемы разработки и производства МЭМС побуждает российские предприятия радиоэлектронной и приборостроительной отраслей объединять усилия в этом направлении.

В марте 2010 года в Москве прошла международная конференция «Современные тенденции и технологии производства МЭМС-устройств», организатором которой выступила компания ООО «Совтест АТЕ». На конференции представители более 30 российских предприятий приняли решение о необходимости создания «Русской Ассоци-

ации разработчиков, производителей и потребителей МЭМС» – РАМЭМС. Ассоциация была организована в том же году в г. Курске (в 2013 году там же зарегистрировано ООО «РАМЭМС»)[1].

Деятельность РАМЭМС направлена на развитие рынка высокотехнологичных микросистемных изделий в России и странах СНГ. Ассоциация также занимается определением рыночных ниш для использования МЭМС в России; трансфером технологий производства МЭМС на российских предприятиях, организацией учебных программ по МЭМС в России и за рубежом, организацией процессов разработки, проектирования и производства МЭМС, обеспечением международной кооперации с зарубежными партнерами. В сферу деятельности РАМЭМС входит и организация различных семинаров, тренингов, профильных стажировок для сотрудников различных предприятий, визитов российских специалистов на профильные зарубежные предприятия и ряд других направлений деятельности.

Партнерами РАМЭМС, кроме производственных предприятий и компаний, являются и различные ассоциации, акционерные общества, государственные учреждения, вузы и периодические издания. Назовем некоторых партнеров РАМЭМС:

- АПЭАП – Ассоциация производителей электронной аппаратуры

- Академия навигации и управления движением
- Юго-западный Государственный Университет (г. Курск)
- ФГУП ФНПЦ «Старт» им. М. В. Проценко
- ООО «РОСНАНО»
- НОР – Нанотехнологическое общество России
- МИЭТ – Московский государственный институт электронной техники
- Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
- Зеленоградский нанотехнологический центр
- Комитет промышленности Государственной думы федерального собрания РФ
- Департамент радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ
- Среди зарубежных партнеров РАМЭМС не один десяток компаний и организаций, в том числе:
- Институт (Общество) Фраунгофера (Германия)
- Промышленная ассоциация Silicon Saxony (Германия, включает более 300 компаний в области микроэлектроники)
- НИИ в области электроники RISE Acreo (Швеция)
- Компания Beanoir (Франция, беспроводные сенсорные системы)

- Компания Coventor (США, программное обеспечение)
- Компания ECRI Microelectronics (КНР)
- Центр электроники и микротехнологий CSEM (Швейцария)

РАМЭМС является официальным представителем ведущего мирового производителя МЭМС Silix Microsystem AB (Швеция, с сентября 2013 г.), ведущего мирового аналитического центра Yole Development (Франция, с декабря 2013 г.).

Ассоциация РАМЭМС организует и проводит ежегодные МЭМС-форумы и конференции с широким участием российских и зарубежных специалистов; проведено уже шесть форумов и готовится седьмой.

Первый МЭМС-форум прошел в Москве в апреле 2011 года под девизом «Современные тенденции и технологии производства МЭМС-устройств». На форуме с докладами выступили 20 представителей крупнейших предприятий и организаций, ведущих перспективные разработки в области внедрения передовых технологий в производство. На заседаниях выступили и зарубежные специалисты – сотрудники из научно-исследовательского центра нанoeлектроники IMEC (Бельгия), технического исследовательского центра VTT (Финляндия), компании JP Sercel Associates (США).

II Международный МЭМС-форум «Моделирование, производство, тестирование



Рисунок 1. Участники второго МЭМС-форума.

МЭМС-устройств» состоялся в октябре 2012 года в Московском энергетическом институте («НИУ МЭИ», Рисунок 1). Среди более 100 участников форума были и представители научно-исследовательских центров из Германии, США, Нидерландов и Финляндии.

III международный МЭМС-форум «МЭМС-датчики и малогабаритные системы. Сферы их применения» прошел в июне 2013 года в Санкт-Петербурге на базе ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор» при поддержке ООО «Совтест АТЕ», компании Coventor и европейской ассоциации электронной и микросистемной индустрии Silicon Saxony (Германия). Число участников мероприятия превысило 170 человек, включая зарубежных представителей из Германии, Бельгии, США, Финляндии, Великобритании, Италии, Нидерландов, Франции и Швеции.

Среди тем, поднятых на форуме, был рассмотрен беспроводные автоматизированные системы технического мониторинга (БАСТМ). Для реализации таких систем под эгидой РАМЭМС был создан российско-французский альянс компаний ООО «Совтест АТЕ» и BeanAir, в результате которого было налажено производство беспроводных измерительных модулей в г. Курске (Рисунок 2).



Рисунок 2. На стенде компании BeanAir.

IV Международный МЭМС-форум «МЭМС сегодня и завтра» состоялся в июне 2014 года в Казани в бизнес-центре «Ривьера» (Рисунок 3). Работа форума прошла при поддержке генерального партнера – компании ООО «Совтест АТЕ» и участии Московского энергетического университета, ассоциации Silicon Saxony, аналитического центра Yole Development, компаний Coventor, Silex Microsystems AB (Швеция) и Шанхайского государственного университета нано- и микроэнергии. В



Рисунок 3. Докладчик на четвертом МЭМС-форуме.

число участников мероприятия вошли более 50 представителей российских и зарубежных компаний производителей и разработчиков высокоточных микроустройств и электронного оборудования, а также представители научно-исследовательских институтов и потребителей МЭМС.

V Международный МЭМС-форум прошел в июне 2015 г. в Нижнем Новгороде под названием «МЭМС-форум – 2015. Международная конференция и выставка по разработке, производству, тестированию и стандартизации МЭМС». Форум проходил на базе «Межведомственного центра по производству и разработке ЭКБ». Эта организация в течение нескольких лет занимается разработкой технологий производства изделий микроэлектроники, в том числе связанных с МЭМС-изделиями. На Рисунке 4 сотрудники НТЦ «Техноцентр» Южного федерального университета из Таганрога и исполнительный директор ООО «РАМЭМС» Д. М. Урманов (в центре) на МЭМС-форуме – 2015.



Рисунок 4. Участники пятого МЭМС-форума с исполнительным директором РАМЭС.

VI Международный МЭМС-форум «Индустрия 4.0» был проведен в июне 2016 года в Курске на базе Курского государственного университета при поддержке ООО «Совтест АТЕ». Лейтмотивом форума стала актуальная в настоящее время тема «Индустрия 4.0: Четвертая промышленная революция». Многие доклады на форуме касались тематики «Интернета вещей», беспроводных технологий, умных сенсоров и систем. На Рисунке 5 участники МЭМС-форума – 2016 на предприятии ООО «Совтест АТЕ».



Рисунок 5. Участники МЭМС-форума -2016 на предприятии «Совтест АТЕ».

VII международный МЭМС-форум «Интеграция "умных" микронаносистем в современную жизнь» планируется провести 5-6 июля 2017 года в Сочи на базе АО «Адлеркурорт». Председателем форума является исполни-

тельный директор ООО «РАМЭМС» Денис Урманов. На предстоящем мероприятии будут рассмотрены такие направления, как технология и производство чувствительных элементов (ЧЭ) и микросхем частного применения (ASIC), корпусирование ASIC и ЧЭ, детекторы радиации, а также вопросы телемедицины (мобильные устройства мониторинга здоровья).

Хотя сами МЭМС практически «не попадают на глаза» широкой публики, важность их применения в современной жизни несомненна.

Первые МЭМС-датчики давления, были продемонстрированы еще в 1961 г., а в 1964 г. в компании Westinghouse под руководством Харви Натансона (Harvey Natanson) была выпущена первая серийная МЭМС, представляющая собой комбинацию механических и электронных компонентов и получившая название резонансного затворного транзистора (Resonant Gate Transistor/RGT, Рисунок 6).

К началу 1990-годов уже многие компании выпускали МЭМС акселерометры, инклинометры, датчики вибраций и давления. Большой вклад в разработку интегральных акселерометров поверхностного типа внесла фирма Analog Devices, начавшая в 1991 году серийный выпуск акселерометров ADXL50 для систем активации подушек безопасности автомобилей. Особенности МЭМС-акселерометров, инклинометров и гироскопов этой компании приведены в статье [2].

Начиная с рубежа веков и по настоящее время особенно бурно развивается произво-

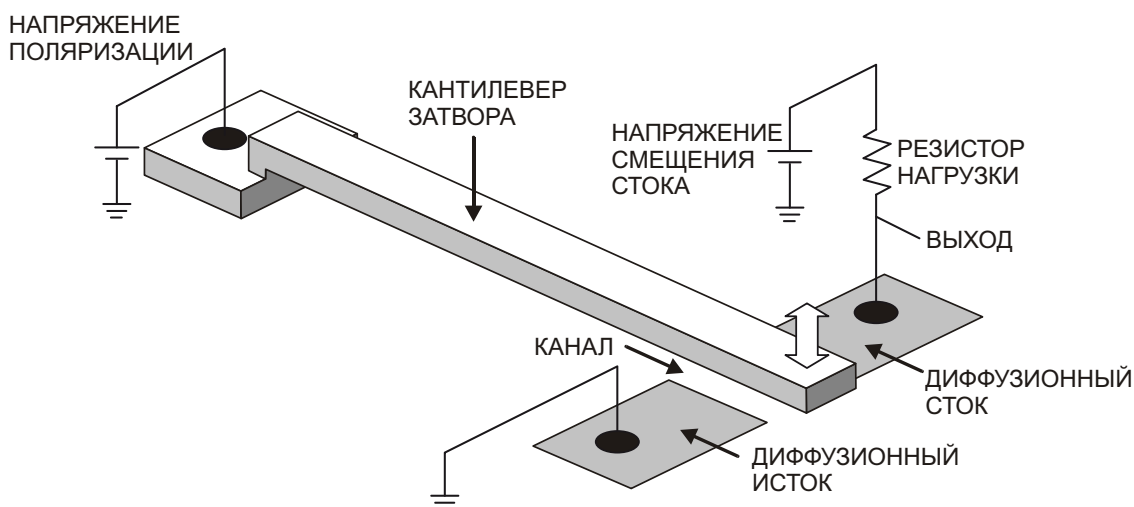


Рисунок 6. Резонансный затворный транзистор.

дство инерциальных МЭМС, интегрированных в полупроводниковые приборы (микросхемы). Именно такие МЭМС-устройства, встроенные в смартфоны, планшеты, навигаторы и другие мобильные гаджеты, дали возможность миллионам людей ориентироваться в пространстве и легко управлять функциями самих гаджетов. Пользователи мобильных устройств имеют доступ к навигационным функциям (компас, интерактивные карты и др.) и могут участвовать в онлайн играх, используя наклоны устройства для управления виртуальными объектами.

Спецификой российской электронной промышленности является почти полное отсутствие массового производства многих видов продуктов потребительской электроники, в том числе мобильных устройств. Российские предприятия радиоэлектронной индустрии во многом ориентированы на производство военной и специальной техники, гражданской продукции для промышленности, связи, всех видов транспорта, строительной техники, медицинских приборов и ряда других специализированных приложений в относительно небольших количествах. Заказчики российских предприятий проявляют интерес в основном к инерциальным МЭМС-устройствам – акселерометрам, гироскопам, инкли-

нометрам и датчикам угловых скоростей для следующих сфер применения:

- Стабилизация ракет, самолетов и других летательных аппаратов во время полета
- Спутниковые антенны и приборы стабилизации платформ
- Беспроводной технический мониторинг зданий и сооружений
- Стабилизация транспортных средств
- Контроль вибраций сооружений и ускорений механизмов
- Навигация судов и других плавсредств
- Железнодорожный и автомобильный транспорт
- Измерительные приборы и дисплеи в кабинах
- Тестирование летательных аппаратов и различных механизмов
- Измерение движения и контроль за движением
- Бурильные головки для нефте- и газодобычи

Особый интерес российских заказчиков вызывают бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС, Рисунок 7). В приборах этого типа сочетаются МЭМС-акселерометры, гироскопы, датчики первичной информации и полупроводнико-

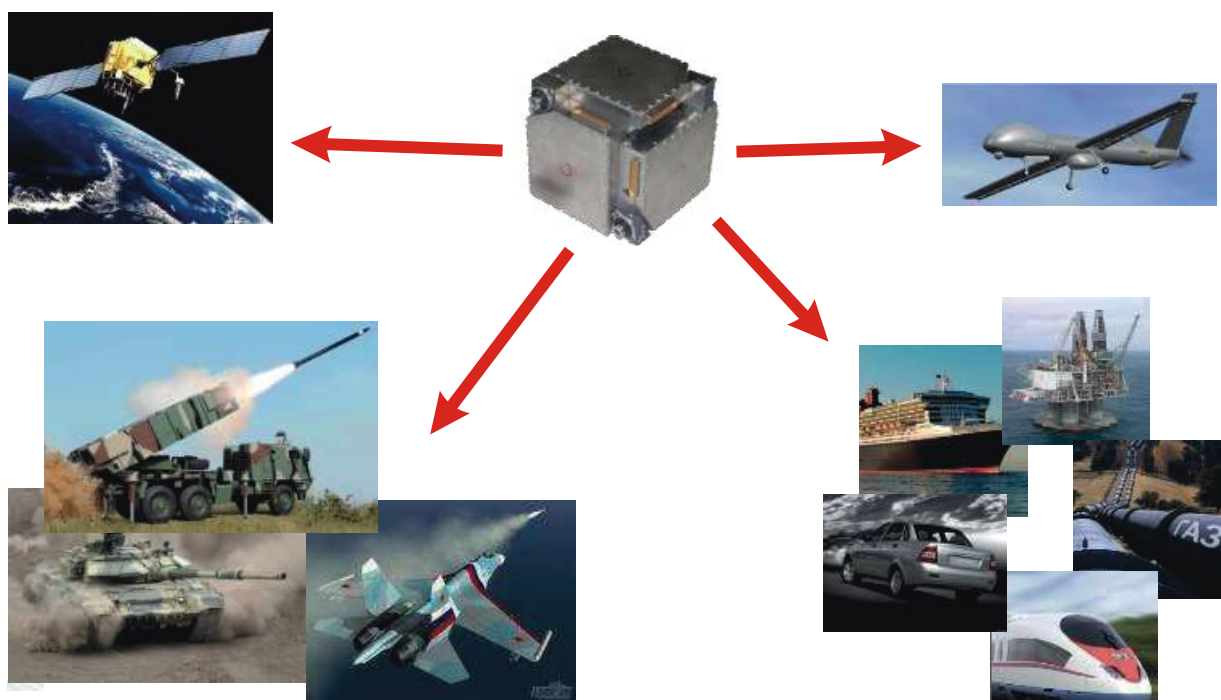


Рисунок 7. Области применения БИНС.

вые микросхемы для обработки информации с датчиков. БИНС могут предоставить до 6 степеней свободы (3-осевой гироскоп и 3-осевой акселерометр). БИНС на основе МЭМС обеспечивают:

- Минимальные габаритные и весовые характеристики, что дает возможность увеличить полезную нагрузку летательных аппаратов
- Уменьшение стоимости конечных изделий
- Интеграцию со спутниковыми навигационными системами ГЛОНАСС, GPS и другими
- Малое энергопотребление
- Высокую помехозащищенность и эффективное управление быстро летящими высокоманевренными объектами

Актуальность разработки и производства отечественных МЭМС-устройств, как и электронной компонентной базы (ЭКБ), существенно возросла с введением запретительных санкций против России со стороны западных стран, в том числе США, являющихся одним из основных производителей МЭМС-устройств.

В 2015 году началась реализация инвестиционного проекта по строительству нового высокотехнологичного завода компании ООО «Совтест АТЕ» в Курской области (Рисунок 8). Проект включен в программу Минпромторга РФ по импортозамещению в радиоэлектронной промышленности.

Одним из направлений работы нового предприятия станет выпуск высокоточных датчиков по технологии МЭМС и различных систем мониторинга, предназначенных главным образом для навигационного оборудования, мониторинга инженерных конструкций и оборонной промышленности.

К концу 2016 года введены в строй первые два корпуса нового завода, в которых разме-



Рисунок 8. Новый завод «Совтест АТЕ» в Курске.



Рисунок 9. Цех завода «Совтест АТЕ».

щены слесарно-сборочный и механообработывающий участки. Расширены также действующие участки поверхностного монтажа и микроэлектроники. На Рисунке 9 – действующий цех ООО «Совтест АТЕ» по автоматизированной сборке печатных узлов.

В декабре 2016 года компания «Совтест АТЕ» подписала контракт по технологиям инерциальных датчиков с институтом электронных наносистем Fraunhofer ENAS (технопарк в г. Хемнитце, Германия). В рамках контракта стороны будут развивать разработки и изготовление высокоточных инерциальных МЭМС-датчиков на основе современных микросистемных технологий. Основным направлением деятельности партнеров будут наиболее востребованные на российском рынке продукты. Первые образцы акселерометров с диапазоном измерения ± 5 G будут изготовлены уже во втором квартале 2017 г. и переданы заказчикам для апробации. Впоследствии прошедшие успешные испытания образцы будут переданы на предприятие «Совтест АТЕ» в Курске. В дальнейшем, благодаря трансферу технологий, предполагается производить не только акселерометры, но и другие МЭМС-устройства (гироскопы, датчики давления, инклинометры, а также другие типы сенсоров. **РЛ**)

Литература

1. http://www.elinform.ru/news_3959.htm
2. Юрий Петропавловский, «Инерциальные приборы и МЭМС микросхемы компании Analog Devices для систем автоматики, навигации и автомобильной электроники», РадиоЛоцман, 2015, ноябрь, стр. 38; РадиоЛоцман, 2015, декабрь, стр. 40

Микроконверторы ADuC84x: удачное сочетание аналоговой периферии с ядром 8052

Часть 2

Окончание. Начало в номере 05-2017

Михаил Русских

Даются рекомендации по схемотехническому сопровождению ADuC845, приводятся программы и утилиты для написания кода и программирования ADuC845, рассматривается пример работы микроконвертора в составе простого устройства измерения веса с демонстрацией настройки АЦП и ЦАП

Как уже было отмечено в предыдущей части, микроконвертор ADuC845, являющийся наиболее функциональным представителем серии ADuC84x, представляет собой выгодное с экономической точки зрения объединение в одном корпусе микроконтроллера и многоразрядных АЦП и ЦАП, поскольку набор отдельных компонентов с похожими

характеристиками стоил бы дороже и занимал бы больше места на плате. Кроме того, устройства ADuC845 выпускаются в 52-выводных корпусах MQFP с межвыводным шагом 0.65 мм, которые можно достаточно легко запаять на макетную плату, не используя специального дорогостоящего оборудования для пайки, что позволяет использовать эти микроконверторы в радиолюбительских проектах и мелкосерийных устройствах. Пример запаянного на макетной плате ADuC845 с необходимой «обвязкой» можно видеть на Рисунке 6.

Для обеспечения работы микроконвертора требуется небольшое количество недорогих компонентов. На Рисунке 7 представлена принципиальная схема простого устройства измерения веса на основе ADuC845 с «обвязкой». Помимо наличия стандартных блокирующих конденсаторов емкостью 0.1 мкФ, здесь следует отметить некоторые схемотехнические нюансы.

Для тактирования ядра микроконвертора к выводам XTAL1 и XTAL2 подключается

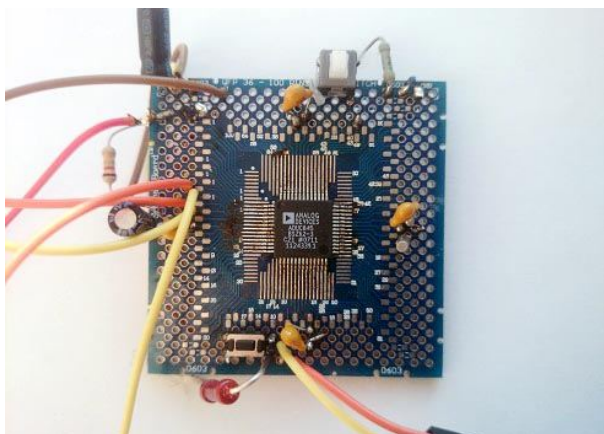


Рисунок 6. Фотография ADuC845 на макетной плате с сопутствующими компонентами.

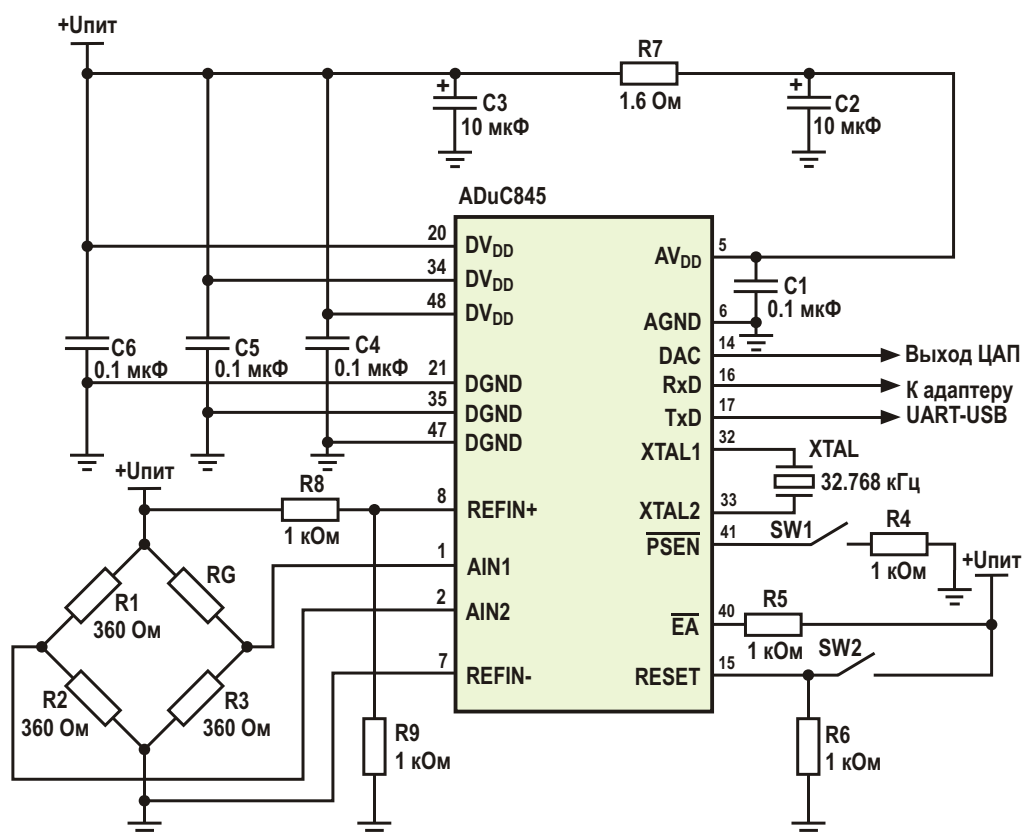


Рисунок 7. Принципиальная схема простого устройства измерения веса на основе ADuC845.

недорогой внешний резонатор 32.768 кГц, который возбуждает внутренний тактовый генератор с ФАПЧ. Но при этом не требуется подключения внешних конденсаторов, поскольку внутри микросхемы на этих линиях уже имеются конденсаторы емкостью 12 пФ. Также при использовании микроконвертора в высокоточных устройствах сбора данных производитель рекомендует разделять питание аналоговых и цифровых цепей, чтобы минимизировать влияние помех этих цепей друг на друга. В противном случае линию питания аналоговой цепи AV_{DD} следует подключать к источнику питания цифровой части через резистор 1.6 Ом, окруженный двумя электролитическими конденсаторами 10 мкФ, как показано на данной схеме. Помимо этого, последовательно с резистором также желательно подключать ферритовую бусинку для лучшего помехоподавления. Само устройство имеет достаточно широкий диапазон питающих напряжений от 2.7 В до 5.25 В. При этом разделение аналоговой и цифровой цепей позволяет микроконвертору оперировать различными уровнями напряжения. Например, цифровая

часть может быть запитана напряжением 3.3 В, а аналоговая цепь может работать с сигналами до 5 В.

Устройства серии ADuC8xx также хороши тем, что записывать в них программы можно без использования специального программатора, поскольку в них уже встроен внутрисхемный загрузчик, поддерживающий последовательный интерфейс. Поэтому для программирования микроконтроллера достаточно подключить к линиям UART (в случае с ADuC845 линии 16 и 17 для варианта в корпусе MQFP, и линии 18 и 19 для варианта в корпусе LFCSP) преобразователь интерфейсов UART-USB, например, FT232RL компании FTDI. Для того чтобы загрузить с компьютера hex-файл с машинным кодом написанной программы, необходимо скачать предназначенную для этого программу **Windows serial downloader** [1], интерфейс которой показан на Рисунке 8.

При работе с этой программой необходимо убедиться, что микроконтроллер переведен в режим внутрисхемного программирования. Для этого вывод $\overline{PSEN}$ должен быть подключен к земле через резистор 1 кОм.

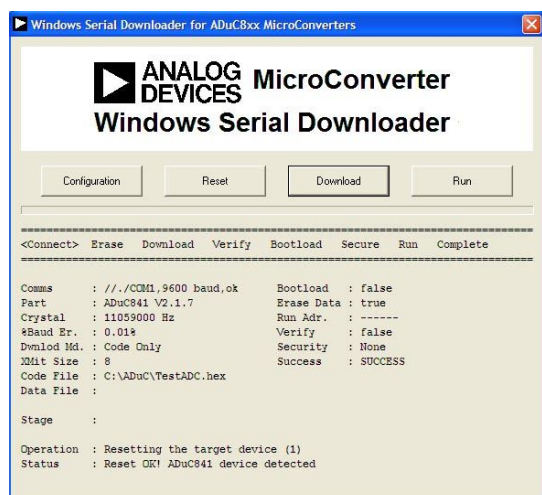


Рисунок 8. Интерфейс загрузчика *Windows serial downloader*.

Для загрузки кода достаточно нажать кнопку *Download*, выбрать требуемый hex-файл и дожидаться, когда запись завершится. По завершении загрузки для запуска программы следует нажать на кнопку *Run*. Воспользовавшись вкладкой *Configuration*, можно выбрать опцию, которая позволяет запускать программу автоматически после ее загрузки в ядро. Помимо этого, в данной конфигурационной вкладке можно выбрать COM-порт, изменить частоту тактового генератора (при этом изменится скорость передачи данных по COM-порту), задать режимы загрузки и верификации.

Микроконверторы серии ADuC84x можно программировать как на ассемблере, так и на языке C. Для тех, кто пишет программы на ассемблере, предлагается простая утилита Metalink 8051 Cross Assembler. Она позволяет скомпилировать листинг программы, сохраненный с расширением *asm*, и получить два файла – файл с расширением *lst*, отображающий результаты ассемблерных операций, включая ошибки, допущенные в исходном коде, и файл с расширением *hex*, который представляет собой машинный код, загружаемый непосредственно в ядро микроконвертора через **Windows serial downloader**. Нех-файл будет создан, если исходный код программы не будет содержать ошибок. В противном случае будет сформирован только один *lst*-файл, в котором можно посмотреть сообщения об ошибках.

Впрочем, микроконверторы ADuC84x имеют достаточное быстродействие и приемлемый объем памяти, чтобы писать для

них программы на языке высокого уровня C, что может значительно ускорить процесс разработки. На данный момент микроконверторы ADuC84x официально поддерживаются двумя средами разработки – IAR EW51 [2] и Keil μ Vision C51 [3]. Обе среды имеют бесплатные версии, которые ограничены размером компилируемого кода, что, однако, не так критично при написании несложных программ без элементов обработки сигналов. Бесплатная версия Keil μ Vision C51 имеет ограничение по коду 2 КБ, в то время как бесплатная версия IAR EW51 ограничена 4 КБ, поэтому для написания более объемных программ без необходимости уплаты немалой суммы денег желательно использовать именно IAR EW51. Впрочем, можно обойтись без покупки дорогой лицензии и писать код без ограничения по объему, если использовать бесплатную среду разработки MCU 8051 IDE [4], распространяемую по принципу *open-source*, благодаря чему можно скачать не только установщик, но и исходный код данной программы. Для того чтобы писать программы на языке C, для этой среды необходимо установить бесплатно распространяемый компилятор Small Device C Compiler suite [5]. MCU 8051 IDE изначально не рассчитан на работу с микроконверторами ADuC84x, но поддерживает программирование под ядро 8052, поэтому разработчик в данном случае должен позаботиться о наличии заголовочных файлов с описанием регистров микроконвертора, чтобы использовать эту среду для написания программ под ADuC84x.

Микроконверторы ADuC84x, благодаря многозарядному сигма-дельта АЦП, отлично подходят для применения в системах сбора данных, в которых важно отслеживание малых изменений аналогового сигнала. К таким системам можно отнести, например, приборы, измеряющие вес, давление, механическое напряжение. В качестве датчиков в подобных приборах могут применяться тензорезисторы. Принцип действия таких датчиков основан на изменении их сопротивления в зависимости от деформации. Тензорезисторы широко используются при создании весового оборудования, поскольку груз, положенный на весы или подвешенный на них, вызывает растяжение или сжатие тензорезистора, что приводит к изменению его сопротивления и, следовательно, измеряемого напряжения.

На практике тензорезисторы применяются в составе моста Уитстона, выходное напряжение на измерительной диагонали которого равно нулю при четырех одинаковых сопротивлениях в каждом плече, или при равном соотношении сопротивлений плеч двух делителей напряжения. В этом случае мост называется сбалансированным. Если в плечо моста включить переменное сопротивление, на которое могут влиять внешние силы, то при разбалансировке моста по величине изменения его выходного напряжения можно определить величину внешнего воздействия. В данном примере показано использование ADuC845 в сочетании с мостом Уитстона, который на Рисунке 7 состоит из резисторов R1, R2, R3 и RG. Здесь используется четвертьмостовая схема с одним тензорезистором (RG) типа BF350-3AA (Рисунок 9), как наиболее простой и дешевый вариант. Впрочем, в современных измерительных приборах чаще встречается полномостовая схема, где тензорезисторы задействованы в каждом плече. При этом обеспечивается увеличенная в четыре раза по сравнению с четвертьмостовой схемой чувствительность и лучшая линейность. В качестве компромиссного варианта также может использоваться полумостовая схема, в которой применяются два тензорезистора.

Поскольку для выполнения измерений с помощью моста Уитстона этот мост должен быть сбалансирован, в случае с тензорезистором BF350-3AA постоянные резисторы выбираются с номиналом, равным сопротивлению BF350-3AA в состоянии покоя, то есть 360 Ом. Для обеспечения более точных измерений желательно использовать прецизионные резисторы. Выходное напряжение моста с одним тензорезистором можно найти по Формуле (6).

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_3}{R_3 + R_G} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{ВХ}} \quad (6)$$

Изменение сопротивления тензорезистора выражается Формулой (7).

$$R = R_G (1 + K_f \cdot \epsilon) \quad (7)$$

Здесь
RG – сопротивление тензорезистора в состоянии покоя;

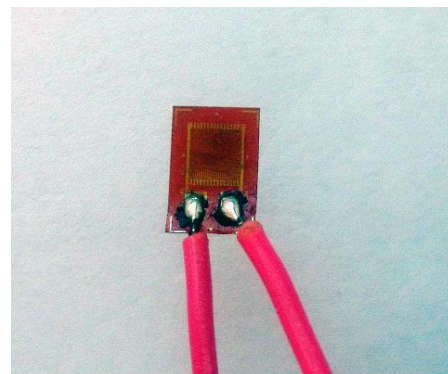


Рисунок 9. Тензорезистор BF350-3AA.

K_f – коэффициент чувствительности, для металлических тензорезисторов равный 2;

ϵ – относительная деформация, испытываемая тензорезистором.

Если мост сбалансирован, то есть сопротивления его плеч равны, то на основе Формулы (6) можно получить следующее выражение:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R_G}{R_G + R} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

$$\frac{K_f}{4} \cdot \frac{1}{1 + K_f \cdot \frac{\epsilon}{2}}$$

Обычно величина относительной деформации представляет собой очень малое значение, выражаемое тысячными долями, поэтому если не преследуется задача получения сверхточных результатов измерения, представленная в скобках часть Формулы (8) попросту убирается. В результате, получив с помощью аналого-цифрового преобразования значение выходного напряжения моста, можно в соответствии с Формулой (9) узнать величину относительной деформации.

$$\frac{4}{K_f} \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \quad (9)$$

Теперь, зная величину относительной деформации, можно по Формуле (10) определить силу, приложенную к датчику.

$$F = S \cdot K \quad (10)$$

Здесь

S – площадь поперечного сечения, в данном случае равная 9.92 мм^2 ;

K – модуль упругости, для меди он равен 100000.

На основе информации о приложенной к датчику силе для устройств измерения веса вроде электронных безменов можно легко вычислить массу тела в соответствии с классической формулой (11).

$$m = \frac{F}{g} \quad (11)$$

При приложении внешней силы к тензорезистору его размеры изменяются, как правило, не более чем на 2-3%, и, следовательно, изменение относительного сопротивления составляет доли процентов, обычно не выше 0.7%. В связи с этим выходное напряжение моста Уитстона также изменяется на очень малую величину. Но, благодаря высокой разрешающей способности сигма-дельта АЦП микроконвертора и программируемым усилителям в его составе, нет необходимости в применении внешнего каскада усиления сигнала.

Как показано на Рисунке 7, линии выходного сигнала моста подключаются к выводам AIN1 и AIN2, образующим дифференциальный вход 24-разрядного сигма-дельта АЦП в составе ADuC845. В данном случае в качестве опорного напряжения было выбрано напряжение питания. Но следует заметить, что для высокоточных измерений желательно использовать внешний прецизионный источник опорного напряжения или обеспечить высокую стабильность напряжения питания. Поскольку деформация тензорезистора приводит к очень малому изменению напряжения на выходе измерительного моста, то с целью получения наиболее актуальных данных программируемый усилитель в составе АЦП нужно настроить на диапазон $\pm 20 \text{ мВ}$. Для этого биты RN0, RN1 и RN2 (соответственно 0-й, 1-й и 2-й биты) регистра ADC0CON1 должны быть установлены в «0». Также в «0» в этом регистре следует оставить бит UNI (5-й бит), чтобы настроить биполярный вход, и биты BUF0 и BUF1 (соответственно, 6-й и 7-й), чтобы к входам подключить

внутренний буфер. С целью минимизации ошибок смещения и шумов следует выбрать режим с автоматическим чередованием входов. Этот режим активен при установленном в «0» бите $\overline{\text{CHOP}}$ (3-й бит) регистра ADCMODE. В ADCMODE для настройки непрерывного преобразования биты MD0 и MD1 (соответственно, 0-й и 1-й) следует установить в «1».

В режиме с автоматическим чередованием входов для задания коэффициента децимации цифрового фильтра используется 8-разрядный регистр SF. Выбор значения для записи в регистр SF в данном случае должен происходить в соответствии с формулой (1) из предыдущей части статьи, и с таблицами 10 и 11 на странице 29 документации. Таблицы наглядно показывают, что наименьшего шума (0.31 мкВ) и наибольшей разрешающей способности (14.5 бит) можно достичь при записи в регистр SF значения 255. Однако при этом частота преобразования будет минимальной и составит лишь 5.35 Гц, что, впрочем, не так критично для приложений прецизионного измерения физических величин.

Для назначения каналов основного АЦП и линий источника опорного напряжения предназначен регистр ADC0CON2. Его биты CH0, CH1, CH2 и CH3 (соответственно, 0-й, 1-й, 2-й и 3-й) для выбора входных линий AIN1 и AIN2 должны быть установлены в «0», «1», «0» и «1», а чтобы выбрать в качестве опорного напряжения напряжение на линиях $\text{REFIN}_{\pm}$, следует биты XREF0 и XREF1 (6-й и 7-й) установить в «1» и «0», соответственно. После проведения всех необходимых настроек для активации АЦП нужно в регистре ADCMODE установить в «1» бит ADC0EN (5-й бит).

Для того чтобы своевременно считывать данные с АЦП необходимо настроить источник прерывания, который будет активировать обработчик прерываний при заполнении регистров данных АЦП (ADC0L, ADC0M и ADC0H). Это осуществляется очень просто путем установки в «1» бита EADC (6-й бит) регистра IE.

Как было отмечено в предыдущей части статьи, микроконверторы серии ADuC84x содержат в себе не только многоразрядные АЦП, но и 12-разрядный ЦАП, который полезно использовать, например, для вывода полученной информации на стрелочный индикаторный прибор или для ее ввода на аналоговый вход другой вычислительной системы.

Для демонстрации простоты работы с ЦАП настроим его на вывод преобразованного аналогового сигнала, полученного с АЦП. ЦАП имеет два 8-битных регистра выходных данных: старший DACH и младший DACL. В

8-битном режиме данные полностью помещаются в регистр DACL, а в 12-битном режиме восемь младших бит данных записываются в DACL, а четыре старших – в младшие разряды DACH. При этом обновление выхода

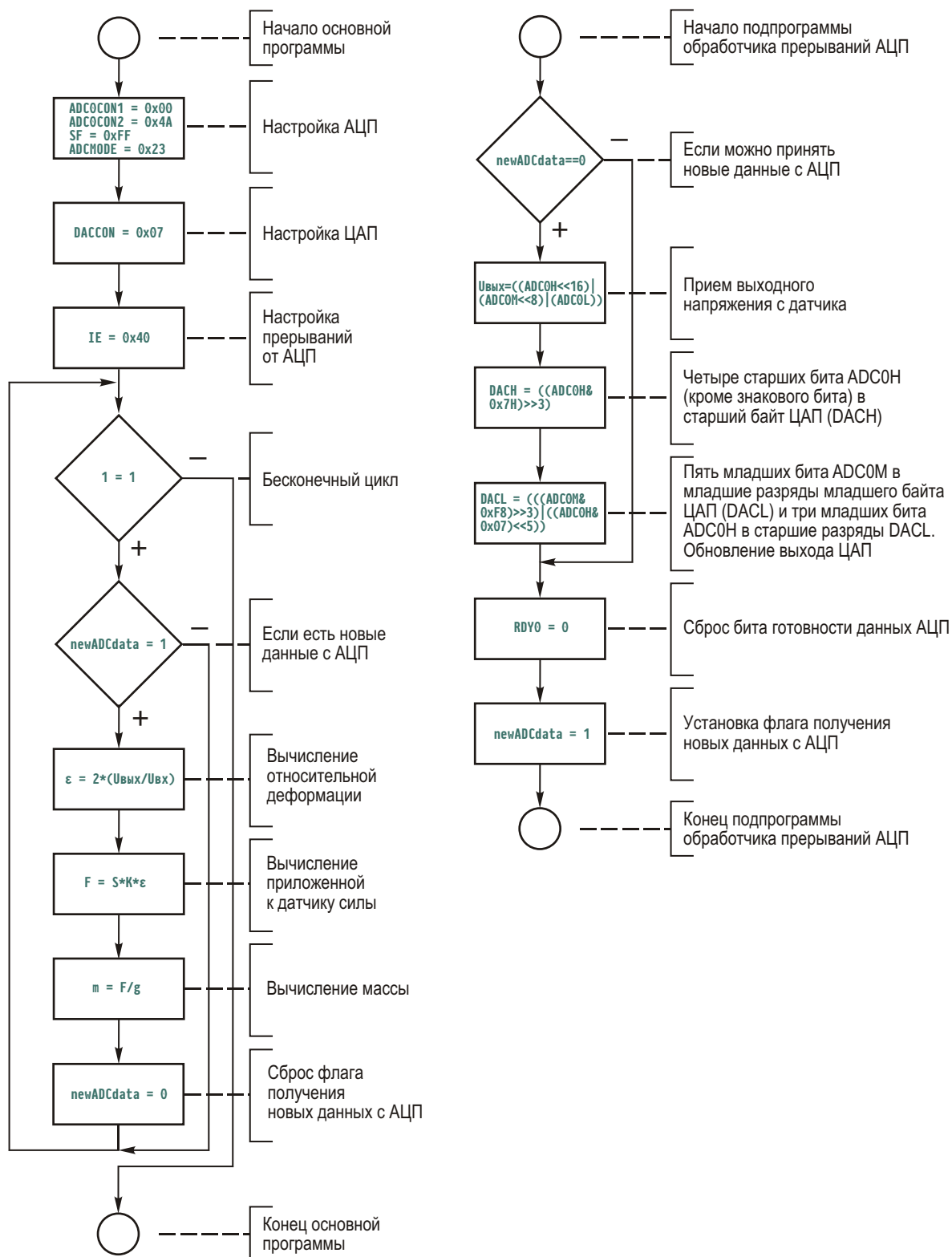


Рисунок 10. Блок-схема алгоритма работы простого измерителя веса на основе микроконвертора ADuC845 и тензорезистора BF350-3AA.

ЦАП будет произведено после записи данных в регистр DACL, а перед этим нужно выполнить запись в регистр DACH. Для настройки работы ЦАП служит единственный регистр DACCON. Выбор режима работы осуществляется в бите DAC8 (3-й бит): «1» настраивает ЦАП на 8-разрядный режим, а «0» – на 12-разрядный. Для того чтобы установить выходной диапазон напряжений от 0 В до AVDD, следует записать «1» в бит DACRN (2-й бит). Запись «0» в этот бит устанавливает границы выходного напряжения от 0 В до 2.5 В. Выходная линия ЦАП определяется битом DACPIN (4-й бит): запись «1» назначит в качестве этой линии вывод 14 (DAC), а запись «0» назначит вывод 13 (AINCOM). Также следует отметить бит DACCLR (1-й бит). Для нормальной работы ЦАП его нужно держать в состоянии «1». Сброс этого бита приведет к обнулению регистров DACL и DACH. После завершения настройки ЦАП его активация осуществляется путем записи «1» в бит DACEN (0-й бит).

Упрощенный алгоритм работы микроконвертора ADuC845, используемого в качестве простого измерителя веса, представлен в виде блок-схемы на Рисунке 10. Листинг программы можно найти в репозитории Sourceforge [6].

Таким образом, на примере измерителя веса было показано, что микроконверторы серии ADuC84x являются весьма эффектив-

ными и простыми в использовании средствами для создания устройств, способных довольно точно обрабатывать аналоговые сигналы. Благодаря высокой степени интеграции, разработчик получает недорогое решение, содержащее в одном корпусе много разрядные АЦП, ЦАП и ядро 8052, а буферы и программируемые усилители в каналах АЦП позволяют обойтись без внешних схем согласования. **РЛ**

Ресурсы

1. http://www.analog.com/media/en/evaluation-boards-kits/evaluation-software/wsd_setup_v705.zip
2. <https://www.iar.com/iar-embedded-workbench/?focus=wbselector#!?device=ADUC845&architecture=8051>
3. <http://www.keil.com/c51/>
4. <http://mcu8051ide.sourceforge.net/intro>
5. <http://sdcc.sourceforge.net/snap.php>
6. <https://sourceforge.net/projects/tenzoaduc845/files/Tenzo.c/download>

Литература

1. Куова. «[Что такое тензорезистор? Знакомство с тензорезисторами](#)»
2. [Энциклопедия АСУ ТП. 6.3.5. Тензорезисторы](#)

Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices ADuC845/847/848](#)
2. [Datasheet AGS-TECH BF350](#)

настоящее немецкое качество

Testboy
GmbH, Germany

контрольно-
измерительное
оборудование



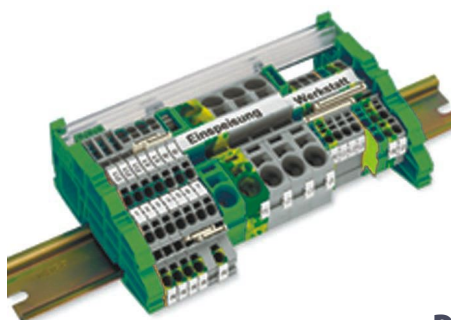
»»JOKARI®
original

инструмент для
разделки кабеля
и снятия изоляции



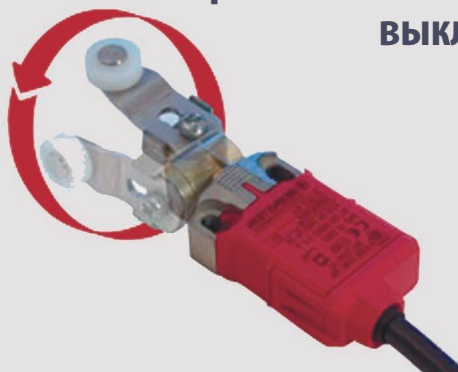
WAGO®
INNOVATIVE CONNECTIONS

клеммы
на DIN рейку
и для печатных плат



BERNSTEIN
safe solutions

промышленные корпуса
выключатели
датчики



ДЕЦИМА

ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ

МОСКВА, ЗЕЛЕНОГРАД, +7(495) 988-4858

WWW.DECIMA.RU



Обзор микросхем источников опорного напряжения

Sam Davis

Power Electronics

Микросхемы ИОН обеспечивают точное термокомпенсированное напряжение для использования во всевозможных приложениях – от аналого-цифровых преобразователей до медицинского оборудования

Источники опорного напряжения (ИОН) выпускаются как с фиксированными, так и с регулируемыми выходными напряжениями. Чтобы получить регулируемый выход, к выводу опорного напряжения подключают резистивный делитель. Эти ИОН бывают либо шунтового типа (двухвыводные), либо последовательного (трехвыводные). Обычно такие микросхемы выпускаются семействами, содержащими ряд точных выходных напряжений. В некоторых семействах может быть до десятка различных значений выходных напряжений от 0.500 В до 10.000 В с допусками от 0.05% до $\pm 2\%$. Двумя из наиболее важных параметров ИОН являются начальная точность выходного напряжения и его температурный коэффициент.

Вот некоторые из характеристик, которыми должен обладать идеальный источник опорного напряжения:

- Выходное напряжение, независимое от изменений температуры;
- Выходное напряжение, независимое от тока нагрузки;
- Выходное напряжение, независимое от времени;

Кроме того, идеальный ИОН должен иметь:

- Высокую начальную точность;

- Возможность как отдавать, так и принимать ток;
- Низкий собственный ток потребления (или рассеиваемая мощность);
- Низкие шумы;
- Приемлемую цену.

Однако эти идеальные характеристики недостижимы, поэтому разработчик должен учитывать следующее:

В двухвыводных опорных источниках обычно используются стабилитроны. Основным преимуществом стабилитронов является широкий диапазон напряжений от 2 В до 200 В. Кроме того, они имеют широкий диапазон допустимых мощностей – от нескольких милливатт до нескольких ватт. Недостатки стабилитронов заключаются в невысокой точности, не отвечающей требованиям прецизионных приложений. Кроме того, потребляемая стабилитронами мощность не позволяет использовать их в малопотребляющих приложениях. Еще одна проблема связана с относительно высоким выходным импедансом некоторых типов приборов.

Другой тип опорных источников, обычно используемый в трехвыводных микросхемах последовательного типа, основан на напряжении, определяемом шириной запрещенной зоны. Напряжение таких ИОН, называемых «бандгап» (от англ. bandgap) не зависит от температуры, поэтому они широко используются в интегральных схемах, и обычно имеют выходное напряжение порядка 1.25 В, что близко к теоретическому значению шири-

ны запрещенной зоны кремния, равной 1.22 эВ при 0 К.

С точки зрения практического использования шунтовые ИОН похожи на стабилитроны, поскольку и тем и другим требуется внешний резистор, определяющий максимальный ток, который может быть отдан в нагрузку. Кроме того, внешний резистор задает минимальный ток смещения, необходимый для стабилизации напряжения. Остановить свой выбор на шунтовом ИОН вы можете в том случае, когда нагрузка почти постоянна, а колебания питающего напряжения минимальны.

Бандгапы не требуют никаких внешних компонентов, а их применение целесообразно там, где нагрузка нестабильна, а напряжение должно быть низким. Кроме того, по сравнению с шунтовыми приборами, они более устойчивы к колебаниям напряжения питания.

Последовательные ИОН имеют ряд преимуществ перед шунтовыми. Шунтовым источникам нужен резистор, выбираемый в соответствии с требуемым максимальным током нагрузки. Этот ток шунтовой ИОН должен потреблять всегда, даже когда нагрузка далека от максимальной, что приводит к большому рассеиванию мощности и сокращению срока службы батареи. Последовательным ИОН токоограничительные резисторы не нужны, а диапазон их напряжений питания относительно велик и зависит от выходного напряжения.

Температурный дрейф является мерой зависимости выходного напряжения от изменения температуры и выражается в ppm/°C. Опорные источники на основе стабилитрона со скрытым переходом обычно имеют меньший температурный дрейф, чем приборы, в которых используется ширина запрещенной зоны.

Тепловой гистерезис выходного напряжения характеризует изменение выходного напряжения при опорной температуре, обычно равной 25 °C, обусловленное последовательными противоположными изменениями температуры от низкой к высокой и от высокой к низкой. Негативные последствия этого эффекта могут возникать из-за того, что его амплитуда прямо пропорциональна отклонениям температуры связанной системы. В некоторых системах этот параметр не воспроизводится от одного цикла изменения температуры к другому. Тепловой

гистерезис зависит от схемы ИОН и от конструкции его корпуса. Гистерезис указывается в частях на миллион (ppm).

Начальная точность – важная характеристика для систем, в которых калибровка невозможна или неудобна. Подобная калибровка обычно выполняется для всей системы в целом. Начальная точность указывается для определенного входного напряжения и нулевого тока нагрузки (для последовательных ИОН) или для определенного тока смещения (для шунтовых ИОН).

Долговременный дрейф влияет на выходное напряжение, постепенно изменяя его с течением времени. Наиболее заметные изменения происходят в первые 200...500 часов работы ИОН. Этот параметр важен для особо ответственных и точных приложений или в тех случаях, когда периодическая калибровка невозможна. Данные о долговременной стабильности могут быть основаны на результатах наблюдения в течение 1000 часов при комнатной температуре. При необходимости поддержания высокой точности долговременный дрейф может требовать частой калибровки, и даже термотрендовки схемы.

Рассеиваемая мощность зависит от напряжения и тока, необходимых для поддержания надлежащих рабочих характеристик.

Выходной шум обычно приводится в документации для двух частотных диапазонов: от 0.1 Гц до 10 Гц (пиковое значение) и от 10 Гц до 1 кГц (среднеквадратичное значение). Учет шума необходим в связи с тем, что он снижает динамический диапазон системы сбора данных. В системах выборки данных высокого разрешения шум опорного источника может быть единственной причиной «дрожания» младших разрядов результатов преобразования. В некоторых ИОН предусмотрена возможность снижения шума с помощью внешнего фильтрующего конденсатора, подключаемого к специальному выводу.

Микросхемы источников опорного напряжения

Analog Devices

Выпускаемые Analog Devices прецизионные последовательные КМОП ИОН ADR3412/ ADR3420/ ADR3425/ ADR3430 /ADR3433/ ADR3440/ ADR3450 в корпусах

SOT-23 дешевы, потребляют небольшую мощность, имеют начальную точность до $\pm 0.1\%$ и низкие шумы. Для повышения точности на финальном этапе сборки выполняется цифровая подстройка выходного напряжения и температурного коэффициента каждой микросхемы, технология которой была разработана Analog Devices и запатентована под названием DigiTrim.

Низкие значения температурных коэффициентов и незначительный гистерезис выходного напряжения позволяют поддерживать высокую точность систем как при изменениях температуры, так и во времени, что потенциально сокращает количество перекалибровок оборудования. Кроме того, низкий рабочий ток (не более 100 мкА) позволяет использовать ИОН в малопотребляющих устройствах с батарейным питанием.

Благодаря запатентованным архитектурным решениям, компании удалось создать КМОП микросхемы ИОН с высокой точностью, низким температурным коэффициентом и низким уровнем шумов. Как и все ИОН, в которых используется ширина запрещенной зоны, эти приборы основаны на комбинации двух опорных напряжений с противоположными температурными коэффициентами, формирующей выходное напряжение, практически не зависящее от окружающей температуры. Однако, в отличие от обычных бандгапов, источником независимого от температуры опорного напряжения здесь служит напряжение база-эмиттер биполярного транзистора при комнатной температуре, а не при 0 К. (Напряжение база-эмиттер биполярного транзистора при 0 К приблизительно равно ширине запрещенной зоны кремния). К этому напряжению добавляется соответствующее напряжение с положительным температурным коэффициентом, компенсирующее отрицательный температурный коэффициент.

Важнейшим преимуществом этой технологии является то, что настройки начальной точности и температурного коэффициента никак не влияют друг на друга и могут выполняться независимо, благодаря чему существенно увеличивается общая точность в диапазоне температур. Дополнительного снижения чувствительности к вариациям температуры позволяет добиться коррекция нелинейности. Для получения стабильного выходного напряжения напряжение запрещенной зоны буферизуется и усиливается. Выходной буфер может отдавать вытекающий ток до 10 мА и

принимать втекающий ток нагрузки до -3 мА.

Семейство КМОП ИОН ADR34xx представлено широким диапазоном выходных напряжений и рассчитано на работу в промышленном диапазоне температур от -40 °C до $+125$ °C.

Texas Instruments

Texas Instruments выпускает семейство REF50xx малошумящих прецизионных последовательных ИОН с низким дрейфом. Специальные технологии, запатентованные компанией, позволяют получать отличный температурный дрейф (3 ppm/°C) и высокую точность (0.05%).

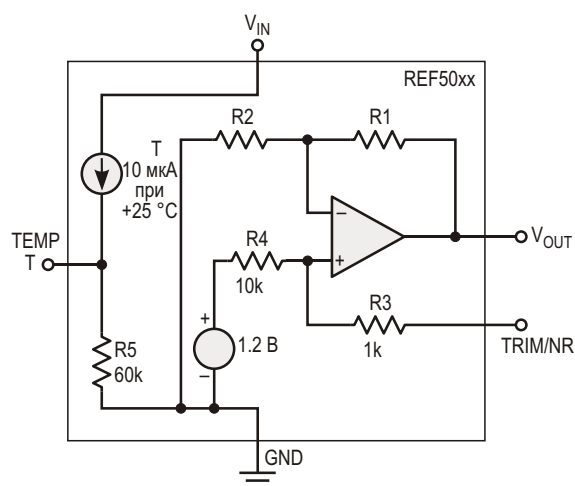


Рисунок 1. Источники опорного напряжения REF50xx поддерживают как втекающие, так и вытекающие выходные токи и очень устойчивы к колебаниям входного напряжения и тока нагрузки.

На Рисунке 1 показана упрощенная блок-схема ИОН семейства REF50xx, обеспечивающего очень высокие уровни точности выходного напряжения. Однако при необходимости снижения шумов и коррекции напряжения V_{OUT} выходное напряжение можно сместить относительно номинального значения с помощью вывода (TRIM/NR). Вывод TRIM/NR обеспечивает подстройку на ± 15 мВ напряжения запрещенной зоны, что, соответственно, на ± 15 мВ смещает выходное напряжение на выводе V_{OUT} .

Для развязки по питанию рекомендуется использовать блокировочные конденсаторы емкостью от 1 мкФ до 10 мкФ. Между выходом V_{OUT} и шиной GND необходимо включить конденсатор с умеренным значением ESR и емкостью от 1 мкФ до 50 мкФ. ESR конденса-

тора (эквивалентное последовательное сопротивление) не должно превышать 1.5 Ом. В то же время, для минимизации шумов рекомендуется выбирать выходную емкость с ESR от 1 Ом до 1.5 Ом. При подключении конденсатора между выводом TRIM/NR и землей в комбинации с внутренним резистором 1 кОм образуется фильтр нижних частот, ослабляющий общие шумы, измеряемые на выводе V_{OUT} . Для получения частоты среза 14.5 Гц рекомендуется использовать конденсатор емкостью 1 мкФ. При увеличении емкости частота среза снижается.

Всего предлагается семь значений выходных напряжений: 2.048, 2.5, 3.0, 4.096, 4.5, 5.0 и 10 В. В свою очередь, каждый прибор может иметь стандартные и улучшенные характеристики. Приборы поставляются в корпусах SO-8 и рассчитаны на работу в диапазоне температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Linear Technology

Linear Technology выпускает серию прецизионных источников опорного напряжения LT6656 с током потребления всего 1 мкА (Рисунок 2), способных работать при напряжении питания, превышающем выходное напряжение лишь на 10 мВ. LT6656 имеют начальную точность 0.05% и температурный дрейф 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$. LT6656 может отдавать в нагрузку ток до 5 мА при нестабильности по нагрузке, равной 65 ppm/мА, что позволяет ей совмещать функции источника опорного напряжения и источника питания для маломощных АЦП. Максимальное напряжение

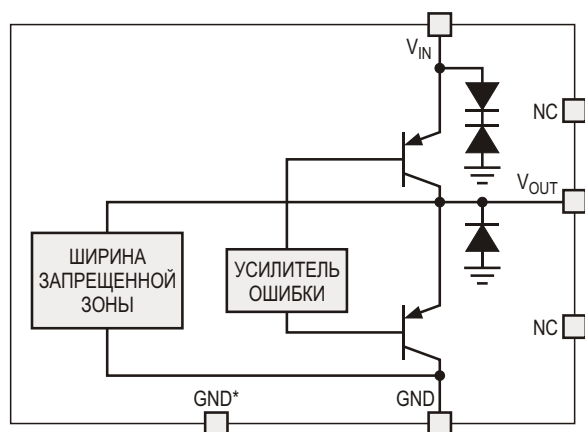


Рисунок 2. Сочетание низкой потребляемой мощности и прецизионных характеристик LT6656 идеально для портативных устройств и измерительных приборов с батарейным питанием.

питания микросхемы составляет 18 В, причем устройство не выходит из строя при ошибочной полярности подключения входного напряжения. Для устойчивости LT6656 достаточно выходного конденсатора емкостью 1 мкФ, к которому не предъявляются строгих требований по величине эквивалентного последовательного сопротивления.

Все параметры этой микросхемы гарантируются в диапазоне температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, а работоспособность сохраняется в расширенном диапазоне от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. LT6656 предлагается в 6-выводном корпусе SOT-23 и в корпусе DFN размером $2 \times 2\text{ мм}$.

National Semiconductor

По значениям начальной точности и температурного дрейфа прецизионные шунтовые ИОН LM4030 делятся на три группы, причем начальная точность лучшей группы составляет 0.05% (Рисунок 3). Тепловой гистерезис LM4030 составляет 75 ppm, а долговременный дрейф не превышает 40 ppm. Кроме того, приборы устойчивы к деформациям печатной платы.

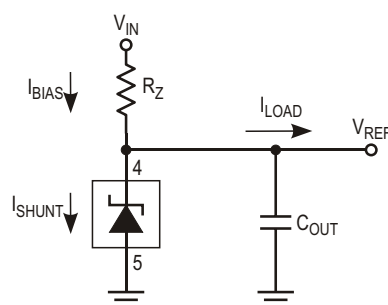


Рисунок 3. LM4030 в корпусах SOT-23 предназначены для использования в компактных конструкциях.

Конструкция LM4030 не требует использования внешнего конденсатора, однако гарантирует устойчивость работы прибора при любой емкостной нагрузке, что делает его исключительно простым в применении. ИОН выпускаются с двумя значениями выходного напряжения: 2.5 В и 4.096 В.

В LM4030 используется подстройка на пластине обратного напряжения пробоя стабилитрона, позволяющая гарантировать точность лучше $\pm 0.05\%$ (для группы А) при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температурный коэффициент менее 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$. Основные технические характеристики LM4030 перечислены в Таблице 1.

Таблица 1. Характеристики ИОН LM4030 компании National Semiconductor

Параметр	Значение
Отклонение выходного напряжения (гр. А, 25 °С)	±0.05% (макс.)
Выходной шум (10 Гц ... 10 кГц)	105 мкВ пик-пик
Минимальный рабочий ток	120 мкА
Расширенный диапазон температур	–40 °С ... +125 °С
Температурный коэффициент	10 ppm/°С (макс.) для гр. А

Maxim

В микросхемах MAX6330/MAX6331, выпускаемых в корпусах SOT23-3, объединены высокоточные шунтовые регуляторы и схемы сброса по включению питания. Как видно из Рисунка 4, шунтовой регулятор состоит из проходного устройства и схемы управления. Проходное устройство позволяет регулятору пропускать ток, поддерживая требуемое выходное напряжение, стабилизированное с точностью ±1.5%.

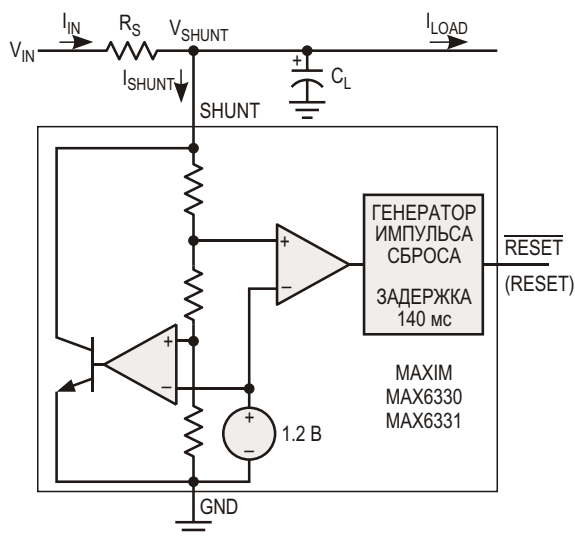


Рисунок 4. Шунтовой регулятор MAX6330 содержит проходное устройство, которое позволяет регулятору пропускать ток, поддерживая требуемое выходное напряжение, стабилизированное с точностью ±1.5%.

Имеются версии как с активным низким (MAX6330), так и с активным высоким (MAX6331) уровнями сигнала сброса. Допустимое отклонение напряжения составляет ±1.5%. MAX6330/MAX6331 работают в широком диапазоне токов от 100 мкА до 50 мА и

отличаются очень хорошей устойчивостью к броскам напряжения питания.

Пропуская необходимое количество шунтового тока, проходной транзистор в микросхемах MAX6330/MAX6331 поддерживает постоянное выходное напряжение V_{SHUNT} . При максимальном токе нагрузки I_{LOAD} ток шунта минимален, и наоборот:

$$I_{IN} = I_{SHUNT} + I_{LOAD} = \frac{V_{IN} - V_{SHUNT}}{R_S}$$

Выбор внешнего резистора производится с учетом

1. диапазона входных напряжений (V_{IN}),
2. стабилизированного напряжения (V_{SHUNT}),
3. диапазона выходных токов (I_{LOAD}).

STMicroelectronics

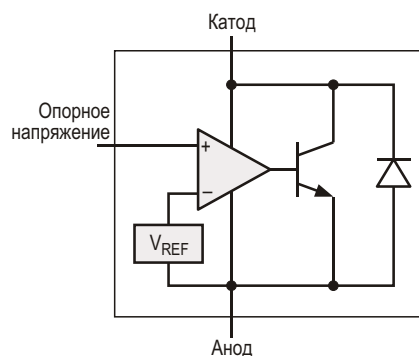


Рисунок 5. Программируемый шунтовой источник опорного напряжения TS3431 совместим со ставшим отраслевым стандартом прибором TL431.

Стабильность параметров программируемых шунтовых источников опорного напряжения TS3431 (Рисунок 5) гарантируется во всем диапазоне рабочих температур от –40 °С до +125 °С. С помощью внешнего

Таблица 2. Характеристики ИОН TS3431 компании STMicroelectronics

Параметр	Значение
Регулируемое выходное напряжение	1.24 В ... 24 В
Уровни точности при 25 °С	±2%, ±1%, ±0.5% и ±0.25%
Нагрузочная способность	0.4 ... 100 мА
Промышленный диапазон температур	–40 °С ... +125 °С

резистивного моста может быть установлено любое значение выходного напряжения между 1.24 В и 24 В.

Приборы выпускаются в корпусах SOT23-3 для поверхностного монтажа и могут использоваться в приложениях, требующих экономного использования площади печатной платы. Технические характеристики TS3431 приведены в Таблице 2. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices ADR3412/ ADR3420/ ADR3425/ADR3430/ADR3433/ADR3440/ADR3450](#)
2. [Datasheet Texas Instruments REF50xx](#)
3. [Datasheet Linear Technology LT6656](#)
4. [Datasheet Texas Instruments LM4030](#)
5. [Datasheet Maxim Integrated MAX6330/MAX6331](#)
6. [Datasheet STMicroelectronics TS3431](#)

Использование усилителя с дифференциальными входами/выходами в приложениях с несимметричными сигналами

Glen Brisebois, Linear Technology

Design Note 473

Введение

Последние достижения в области кремний-германиевой BiCMOS технологии сделали возможными разработку и массовое производство высокоскоростных усилителей. Низкие рабочие напряжения компонентов, создаваемых на основе этой технологии, в большинстве случаев заставляют разработчиков проектировать усилители с дифференциальными входами и выходами, чтобы максимально использовать небольшой общий размах выходного сигнала. В связи с тем, что многие низковольтные приложения несимметричны, возникают вопросы: «Как использовать усилитель с дифференциальными входами/выходами в несимметричных схемах?» и «Каковы последствия такого использования?». В этой статье рассматриваются некоторые практические соображения и демонстрируются примеры конкретных несимметричных приложений на основе усилителя LTC6406 с дифференциальными входами/выходами и произведением коэффициента усиления на полосу пропускания, равным 3 ГГц.

Исходная информация

Обычный операционный усилитель (ОУ) имеет два дифференциальных входа и выход. Его коэффициент усиления условно считается бесконечным, но в реальной схеме устанавливается номиналами элементов обратной связи между выходом и отрица-

тельным «инвертирующим» входом. Выходное напряжение не уходит в бесконечность, а напряжение между дифференциальными входами поддерживается равным нулю (как бы деленное на бесконечность). Универсальность, разнообразие и красота традиционных ОУ хорошо известны и подробно описаны. Полностью дифференциальные ОУ изучены и описаны хуже.

На Рисунке 1 изображен дифференциальный операционный усилитель с четырьмя резисторами обратной связи. В этом случае дифференциальный коэффициент усиления по-прежнему условно бесконечен, и обратная связь поддерживает равенство потенциалов входов, но обусловлено оно не выходными напряжениями. Причина заключается в том, что синфазное выходное напряжение может быть каким угодно, и, тем не менее, из-

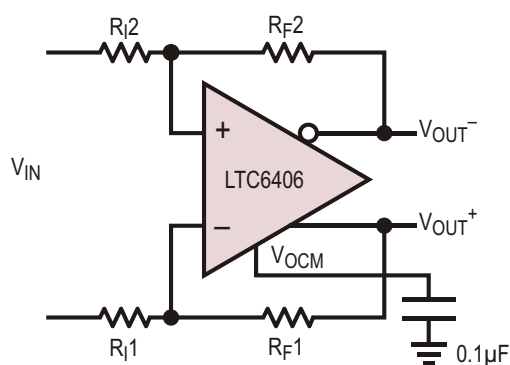


Рисунок 1. У полностью дифференциального усилителя помимо двух выходов есть дополнительный вывод V_{OCM} .

за симметрии обратной связи дифференциальное входное напряжение будет «нулевым». Поэтому для любого усилителя с полностью дифференциальными входами/выходами всегда должно существовать еще одно управляющее напряжение, определяющее синфазное выходное напряжение. С этой целью добавляется вывод $V_{\text{ОСМ}}$, и этим объясняется, почему полностью дифференциальные усилители всегда имеют, как минимум, пять выводов (не считая выводов питания), а не четыре. Дифференциальный коэффициент усиления равен

$$V_{\text{OUT(DM)}} = V_{\text{IN(DM)}} \frac{R_2}{R_1}.$$

где

$V_{\text{OUT(DM)}}$ – выходное дифференциальное напряжение,

$V_{\text{IN(DM)}}$ – входное дифференциальное напряжение.

Синфазное выходное напряжение принудительно вводится в усилитель через вывод $V_{\text{ОСМ}}$.

И последнее, что необходимо сказать о полностью дифференциальных усилителях: у них больше нет инвертирующего входа – оба входа являются и инвертирующими, и

неинвертирующими, в зависимости от того, что считается выходом в конкретном случае. Для удобства анализа схемы входы традиционно обозначаются «+» и «–», а один из выходов снабжается маленьким кружком, указывающим на то, что по отношению к входу «+» этот выход инвертирующий.

Любой, кто знаком с обычными операционными усилителями, знает, что в неинвертирующих приложениях импеданс неинвертирующего входа очень высок, и измеряется гига-, или даже тераомами. Но в случае полностью дифференциального ОУ на Рисунке 1 обратная связь заводится на оба входа, поэтому высокоимпедансных узлов в схеме нет. К счастью, эту трудность можно преодолеть.

Простое несимметричное подключение полностью дифференциального ОУ

На Рисунке 2 показана микросхема LTC6406, включенная как несимметричный ОУ. Источником сигнала обратной связи здесь служит только один из выходов, и обратная связь приходит только на один вход. Оставшийся вход теперь будет высокоимпедансным. LTC6406 прекрасно работает в этой схеме, и по-прежнему обеспечивает дифференциальный выход. Однако простой мысленный эксперимент немедленно выявляет один из недостатков этой конфигурации. Вообразите, что все входы и выходы, включая $V_{\text{ОСМ}}$, находятся на уровне 1.2 В. А теперь представьте, что напряжение на выводе $V_{\text{ОСМ}}$ дополнительно поднялось на 0.1 В. Единственный выход, на котором напряжение способно измениться – это $V_{\text{OUT-}}$, поскольку $V_{\text{OUT+}}$ должен оставаться равным V_{IN} , поэтому, чтобы сместить синфазное выходное напряжение выше на 100 мВ, усилитель должен сдвинуть вверх напряжение на выходе $V_{\text{OUT-}}$ в общей сложности на 200 мВ. Таким образом, при смещении напряжения $V_{\text{ОСМ}}$ на 100 мВ выходное дифференциальное напряжение сдвигается на 200 мВ. Помимо прочего, это означает, что несимметричная обратная связь в полностью дифференциальном усилителе приводит к двукратному увеличению шума на пути от вывода $V_{\text{ОСМ}}$ до «открытого» выхода. Для исключения такого шума просто не следует использовать этот выход, и в результате приложение станет полностью несимметричным. Вы можете использовать и

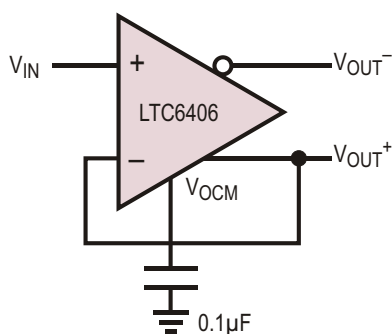


Рисунок 2. Обратная связь только несимметричная. Эта схема устойчива и имеет такой же высокоимпедансный вход, как и обычный ОУ. Выход с обратной связью (в данном случае это $V_{\text{OUT+}}$) является малошумящим. Несимметричный выходной сигнал лучше брать с выхода, используемого для обратной связи, при этом полоса пропускания по уровню 3 дБ составит 1.2 ГГц. Коэффициент усиления шумов выхода без обратной связи ($V_{\text{OUT-}}$) относительно $V_{\text{ОСМ}}$ равен двум, однако он практически постоянен до частоты порядка 300 МГц, выше которой появляется значительная неравномерность в полосе пропускания.

оба выхода, но при этом придется пожертвовать небольшим ухудшением шумовых характеристик.

Несимметричный трансимпедансный усилитель

На Рисунке 3 показана микросхема LTC6406, включенная несимметричным трансимпедансным усилителем с трансимпедансным усилением 20 кОм. Полевой транзистор с р-п переходом BF862 буферизует вход LTC6406, радикально снижая эффекты шумов входных биполярных транзисторов. Теперь в цепь обратной связи включено напряжение затвор-исток полевого транзистора, но его типичное значение равно всего

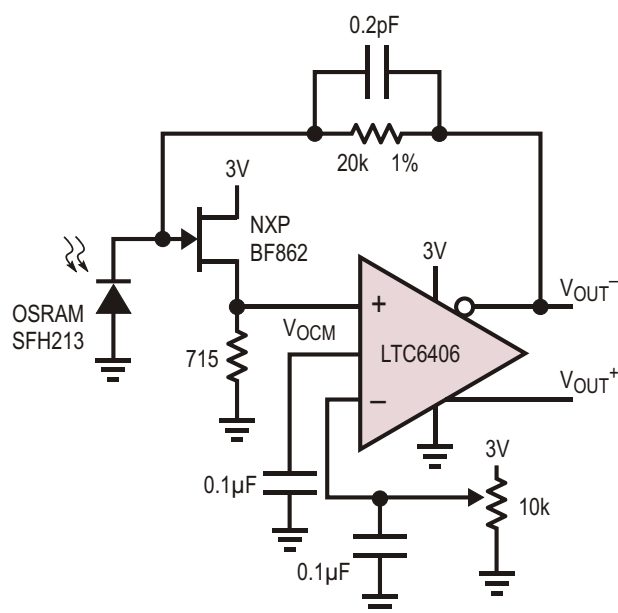


Рисунок 3. Трансимпедансный усилитель. Сверхмалозащумяющий полевой транзистор с р-п переходом буферизует токовые шумы входных биполярных транзисторов микросхемы LTC6406. Для установки нуля дифференциального выхода в отсутствие света используется подстроечный резистор.

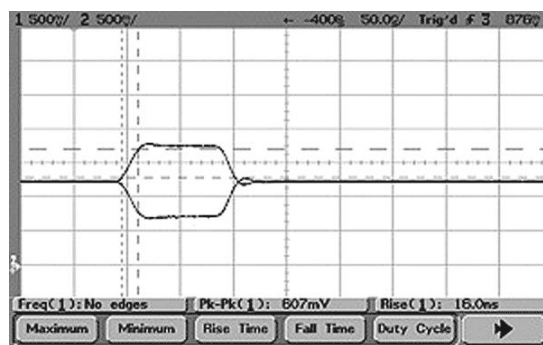


Рисунок 4. Из осциллограмм сигналов схемы на Рисунке 3 видно, что трансимпедансные коэффициенты усиления обоих выходов равны 20 кОм. Время нарастания 16 нс указывает на то, что полоса пропускания равна 20 МГц.

0.6 В, что не мешает схеме хорошо работать при однополярном питании 3 В, а смещением можно управлять с помощью подстроечного резистора 10 кОм. Отклик схемы во временной области показан на Рисунке 4. Общее напряжение шумов, измеренное в полосе 20 МГц, равно 0.8 мВ с.к.з. на выходе V_{OUT+} и 1.1 мВ с.к.з. на выходе V_{OUT-} . Относительно дифференциального входа трансимпедансный коэффициент усиления равен 40 кОм.

Заключение

Новые семейства полностью дифференциальных операционных усилителей, и в их числе LTC6406, имеют беспрецедентную полосу пропускания. К счастью, эти ОУ могут так же хорошо работать и в несимметричных приложениях со стопроцентной обратной связью. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTC6406](#)
2. [Datasheet NXP BF862](#)
3. [Datasheet OSRAM SFH213](#)

ОКО Архив АВТО GPS/GSM

специализированный видеорегистратор для автотранспорта
надежно сохраняет и воспроизводит видео- и аудиоинформацию,
маршрут движения, выполняет охранные функции
во время стоянки и передает информацию по GSM
также в продаже модели
ОКО Архив АВТО и ОКО Архив АВТО GPS

ОКО Мобайл 3G

видеорегистратор с возможностью
передачи видео по беспроводным сетям 3G
также в продаже модели
ОКО Мобайл и ОКО Мобайл II - передача видео по GSM



ВИДЕОРЕГИСТРАТОРЫ СЕРИИ “ОКО АРХИВ”

построение простой, надежной, автономной системы видеонаблюдения для частного и коммерческого секторов

ОКО Архив 4NET

подключение по LAN/internet
сменный жесткий диск

ОКО Архив 4NET LE

подключение по LAN/internet
встроенный жесткий диск

ОКО Архив LITE CF

запись на карту Compact Flash

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ



“Децима”

Москва, Зеленоград, проезд 4922, дом 4, строение 1

тел: +7 (495) 988 48 58

<http://www.decima.ru>

Что нужно знать о портах ввода-вывода Raspberry Pi

Часть 1

element14

Вступление

Raspberry Pi (RPi) – это одноплатный компьютер (SBC), который позиционируется на рынке как бюджетное решение для начинающих разработчиков встраиваемых систем. RPi и его модификации пользуются популярностью и среди радиолюбителей. В сети можно найти множество готовых проектов на RPi, начиная от мультимедиа центров до систем Интернета вещей и «Умный дом».

С точки зрения внешних интерфейсов Raspberry Pi, как и другие небольшие одноплатные компьютеры, не сильно отличается от обычного настольного ПК. На плате RPi предусмотрены USB порты для подключения клавиатуры и мыши, порт HDMI для подключения дисплея. Однако, благодаря тому, что RPi значительно компактнее и дешевле, чем ПК, становится возможным использовать их в различных системах и приложениях, где ПК или ноутбуки неуместны.

Нередко возникает желание подключить к ПК какие-либо нестандартные «вещи». Возможно, например, что вам захочется использовать компьютер для измерения уровня яркости и автоматического управления освещением, или для подачи звукового сигнала при обнаружении нарушителя.

В более широком плане, речь идет о желании использовать компьютер для управления электронными схемами (выходы) и для получения информации от схем или устройств (входы).

Именно здесь проявляется очевидное преимущество RPi и других SBC, обусловленное ключевым различием между одноплатными компьютерами и ПК: одноплатные компьютеры имеют порты ввода/вывода общего назначения, – то, чего нет у больших ПК (Рисунок 1).

Через эти выводы (штыревые разъемы) RPi может взаимодействовать с электронным миром, состоящим (помимо прочего) из датчиков, индикаторов и исполнительных механизмов.

В статье мы рассмотрим примеры схем, которые можно использовать «как есть» (или изменить и расширить), вместе с примерами кода на нескольких языках программирования.



Рисунок 1. Разъем портов ввода/вывода (GPIO) на плате Raspberry Pi может использоваться для подключения пользовательской периферии.

Разъем расширения Raspberry Pi

На Рисунке 2 показано расположение и назначение выводов разъема расширения Raspberry Pi. Первые выводы подобных разъемов на печатных платах, как правило, могут быть идентифицированы по квадратной контактной площадке на нижнем слое платы. На 40-контактный разъем расширения RPi выведены цифровые входы и выходы, совместимые с логическими уровнями 3.3 В.

Совместимость с логическими уровнями 3.3 В означает, что RPi будет интерпретировать входной уровень близкий к 0 В как логический «0», а уровень выше 2 В как логическую «1». Подача на вход напряжения выше 3.3 может вывести RPi из строя. Соответственно, когда GPIO порт сконфигурирован как выход, RPi будет устанавливать на нем напряжение близкое к 0, либо к 3.3 В.

В статье мы будем говорить о выводах, отмеченных на Рисунке 2 розовым, белым, красным и оранжевым цветом. Остальные порты используются последовательными интерфейсами передачи данных.

Цифровые выходы RPi

Первые шаги: управление светодиодом

Простейший пример использования выходов – управление светодиодом или лампочкой, или каким-нибудь приводом или мотором. Для преобразования выходного сигнала RPi во что-то, что будет управлять нужным устройством, обычно требуется электронная схема. Все, что необходимо для небольшого светодиода – последовательный токоограничительный резистор, защищающий светодиод и выход RPi. Соппротивление резистора выбирается из диапазона 100 Ом ... 1 кОм, в зависимости от используемого светодиода и необходимой яркости при установке на выходе логической «1».

Подключение светодиода к контактам разъема GPIO с помощью беспаячной макетной платы показано на Рисунке 3, а сама схема – на Рисунке 4. Соединение GND (0 В) было взято с вывода 6 разъема GPIO, для управления светодиодом используется порт GPIO22 (вывод 15). Можно использовать любой порт

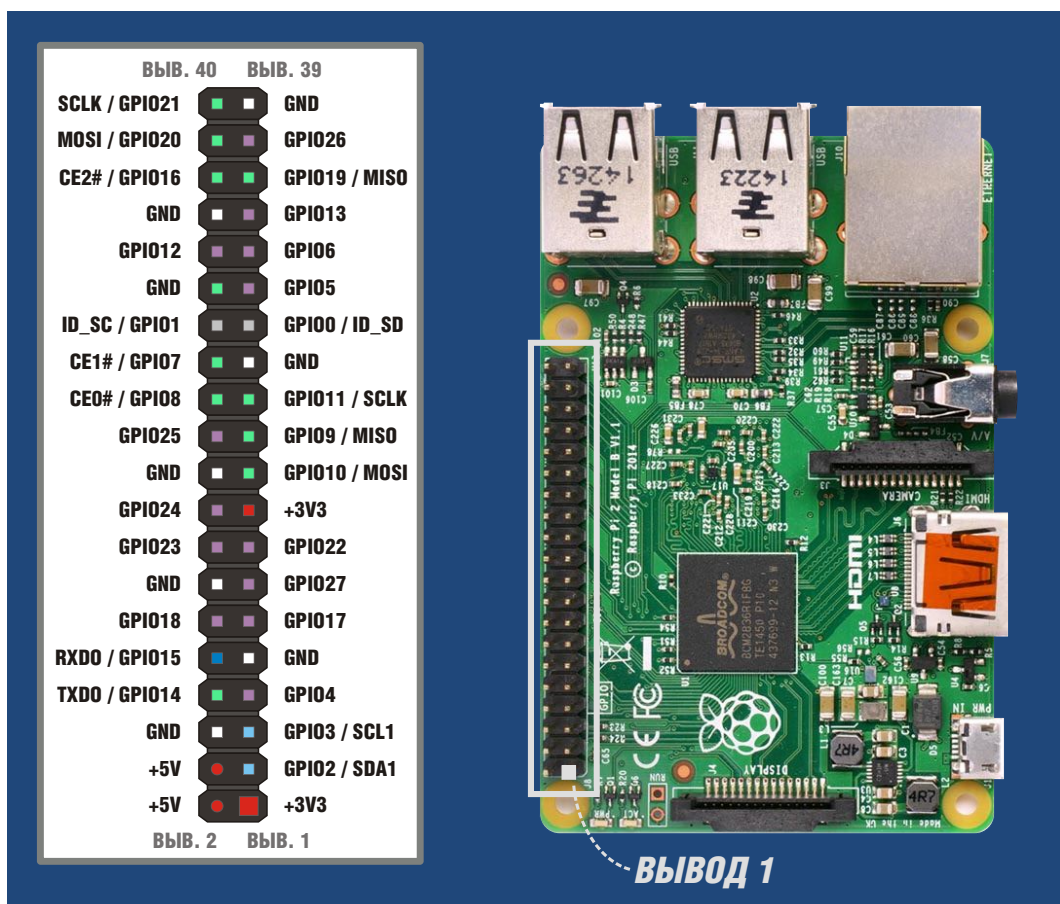


Рисунок 2. Расположение и назначение выводов 40-контактного разъема расширения RPi.

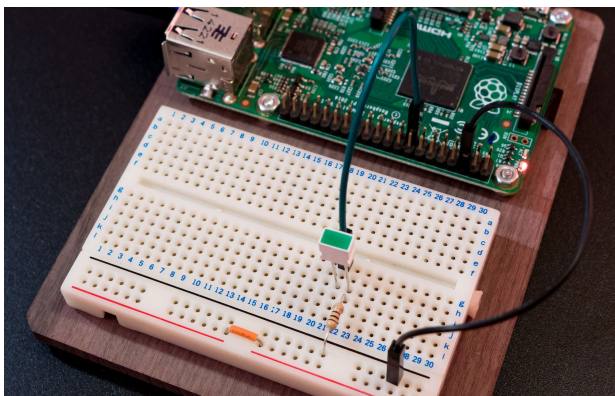


Рисунок 3. Подключение светодиода к разъему GPIO RPi с применением макетной платы.

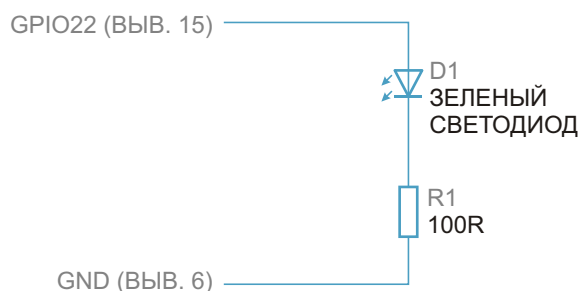


Рисунок 4. Принципиальная схема подключения светодиода к плате RPi.

GPIO, отмеченный розовым цветом на Рисунке 2.

После того, как выполнены и проверены все соединения, можно приступить к написанию кода или сценария управления светодиодом. Выбор языка зависит от вас. Один из примеров на популярном языке Python содержится в (Листинге 1).

Листинг 1. Пример программы на Python для простого мигания светодиодом.

```
# Светодиод подключен к GPIO22 (контакт 15)
import time
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(22, GPIO.OUT)
GPIO.output(22, True)
time.sleep(3)
GPIO.cleanup()
```

Сохраните код в файл с именем **led-test.py**, а затем запустите его, выполнив команду:

sudo python led-test.py

Другая программа (Листинг 2) демонстрирует пример управления светодиодом. Све-

тодиод мигает 10 раз. (Примечание: в Python, в отличие от других языков программирования, важно использование отступов в коде).

Листинг 2. Исходный код программы на Python (светодиод мигает 10 раз).

```
# Светодиод подключен к GPIO22 (контакт 15)
import time
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
for x in range(0,10):
    GPIO.setup(22, GPIO.OUT)
    GPIO.output(22, True)
    time.sleep(0.05)
    GPIO.output(22, False)
    time.sleep(0.45)
```

GPIO.cleanup()

Другой способ управления портами GPIO основан на использовании Shell-скрипта (сценария оболочки). Этот метод кажется немного более сложным (если вы не любите писать скрипты), но он хорош просто для расширения кругозора, поскольку многие языки программирования часто позволяют запускать командные скрипты, и в случае необходимости это может быть одним из быстрых способов управления портами GPIO из других языков. Кроме того, описанный в Листинге 3 способ является стандартным для различных платформ, поэтому ваш код может быть перенесен на другие платы.

Листинг 3. Командный скрипт (Shell-скрипт) для управления светодиодом, подключенным к GPIO22 Raspberry Pi.

```
#!/bin/sh
GPIO_PATH=/sys/class/gpio
LED_PIN=22 #GPIO 22 is pin 15
echo "$LED_PIN" > $GPIO_PATH/export
echo "out" > $GPIO_PATH/gpio$LED_PIN/direction
echo "1" > $GPIO_PATH/gpio$LED_PIN/value
sleep 1
echo "$LED_PIN" > $GPIO_PATH/unexport
```

Первая строка скрипта выглядит как комментарий, но она указывает оболочке Linux, что делать со скриптом при выполнении, поэтому изменять ее нельзя. Остальные строки скрипта используются для контроля соответствующего GPIO порта, конфигурирования его как выхода, установки на нем высокого уровня и выполнения задержки на 1 с. В конце

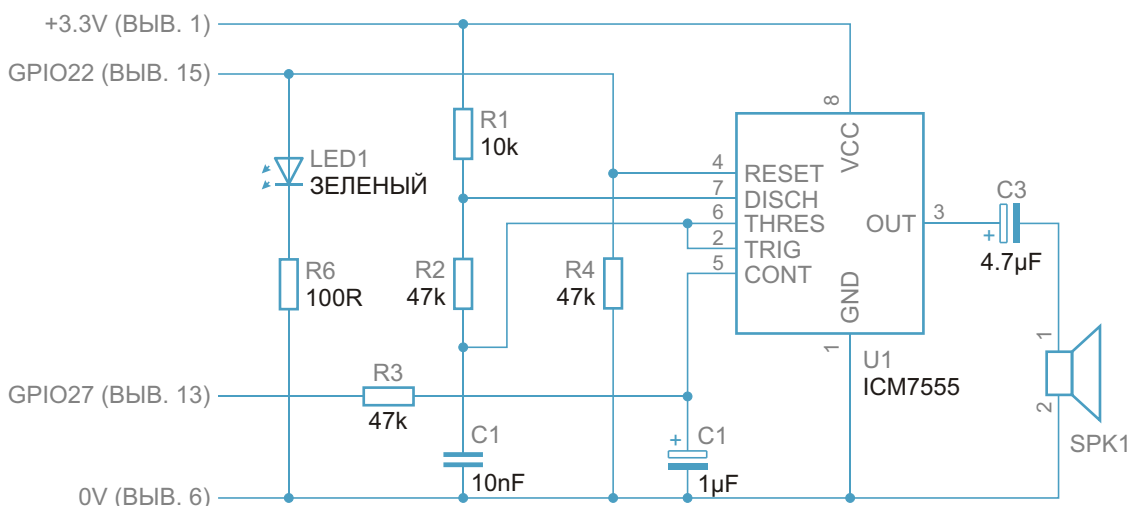


Рисунок 5. Генератор звуковых сигналов, управляемый от RPi по двум линиям GPIO.

порт освобождается, чтобы дать возможность использовать его в других программах.

Другим распространенным языком программирования, с которым вы можете встретиться, является Си, или его старший брат Си++. Примеры исходного кода на Си или Си++ будут приведены далее, когда мы приступим к работе с цифровыми входами.

Генератор тональных сигналов

Более интересным примером может служить использование нескольких портов GPIO для управления тональным генератором. У RPi есть разъем для подключения наушников, но часто для оповещения о событиях (например, для будильника) достаточно простого сигнала или серии сигналов разной тональности.

Принципиальная схема простого генератора звуковых сигналов, выполненного на микросхеме интегрального таймера ICM7555, изображена на Рисунке 5. Вид конструкции, собранной на макетной плате, показан на Рисунке 6. Меняя номиналы резистора и конденсатора, можно создавать разные тональные сигналы и звуки.

Управление генератором осуществляется посредством двух портов GPIO RPi. Один выход (GPIO22) используется для включения или выключения звука, а второй (GPIO27) – для переключения между двумя альтернативными частотами сигнала. При желании можно выбрать другие тона, изменив номиналы компонентов C1, R1 и R2.

Исходный код программы на языке Python, генерирующей несколько звуковых эффектов, приведен в Листинге 4. Сохраните код в файле с именем **tone-test.py** и затем запустите на выполнение командой

sudo python tone-test.py.

Листинг 4. Программа управления генератором звуковых сигналов.

```
import time
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(22, GPIO.OUT) # Вкл/Выкл генератора
GPIO.setup(27, GPIO.OUT) # Изменение тональности

GPIO.output(22, True)
for x in range(0,5):
    GPIO.output(27, True)
    time.sleep(0.1)
```

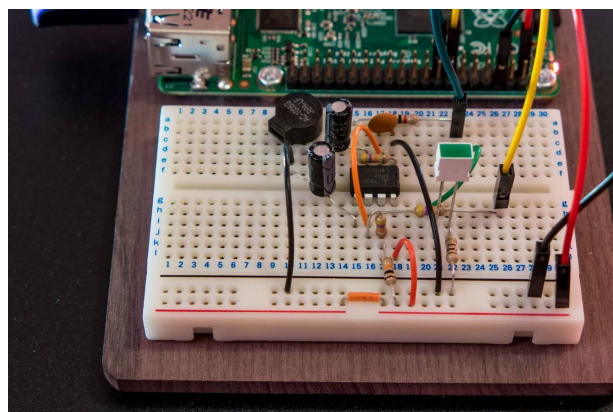


Рисунок 6. Генератор звуковых сигналов, собранный на беспаячной макетной плате.

```

GPIO.output(27, False)
time.sleep(0.2)
GPIO.output(22, False)
time.sleep(0.5)

for x in range(0,5):
    GPIO.output(22, True)
    time.sleep(0.1)
    GPIO.output(22, False)
    time.sleep(0.2)
GPIO.output(27, True)
time.sleep(0.2)

for x in range(0,5):
    GPIO.output(22, True)
    time.sleep(0.05)
    GPIO.output(22, False)
    time.sleep(0.05)

for x in range(0,10):
    GPIO.output(22, True)
    time.sleep(0.1)
    GPIO.output(22, False)
    time.sleep(0.1)
time.sleep(1)

GPIO.cleanup()

```

Обратите внимание, что схема питается напряжением 3.3 В (вывод 1 разъема GPIO). Используйте этот источник только в том случае, если уверены, что ваша схема не потребляет значительный ток. Шину питания 3.3 В можно нагружать током до 50 мА. При необходимости можно воспользоваться отдельным регулятором напряжения 5 В – 3.3 В и подключить его к источнику питания 5 В, доступному на выводе 2 разъема GPIO.

Дополнительные советы по управлению внешними устройствами

Рассмотренные выше схемы питаются низким напряжением и потребляют небольшой ток, но иногда необходимо управлять достаточно мощными внешними устройствами. Несколько типовых способов решения подобных задач описаны ниже.

Подключение к 5-вольтовым логическим устройствам

Использование RPi для управления 5-вольтовыми устройствами не потребует каких-либо дополнительных схем. Логические входы устройства с напряжением питания 5 В будут нормально функционировать с выходными сигналами 3.3 В портов RPi.

Маломощные светодиоды

Для маломощных синих и белых светодиодов может потребоваться напряжение выше 3.3 В. Проще всего управлять единичным светодиодом с помощью транзисторного ключа, коммутирующего ток шины 5 В (Рисунок 7). Сопротивление резистора R1 рассчитывается исходя из технических характеристик конкретного светодиода, транзистор – любой n-p-n типа.

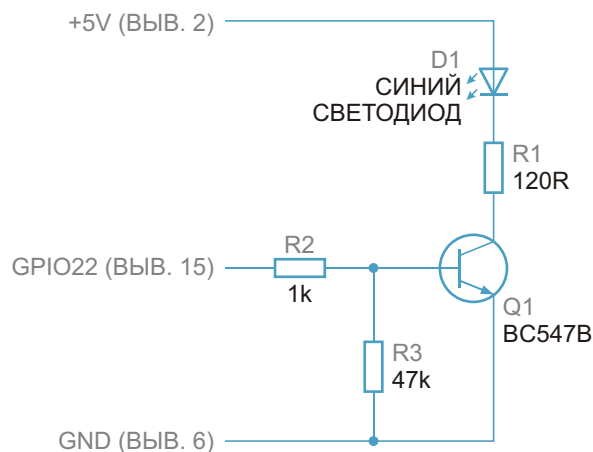


Рисунок 7. Для управления светодиодами можно использовать транзистор.

Мощные устройства

Самым простым и распространенным способом управления мощными устройствами, питающимися от источника переменного или постоянного тока (но не от сети), является использование реле с транзисторным ключом (Рисунок 8). Подойдут практически любые n-p-n транзисторы, в частности, популярные BC547B, 2N3904 и BC549. При этом,

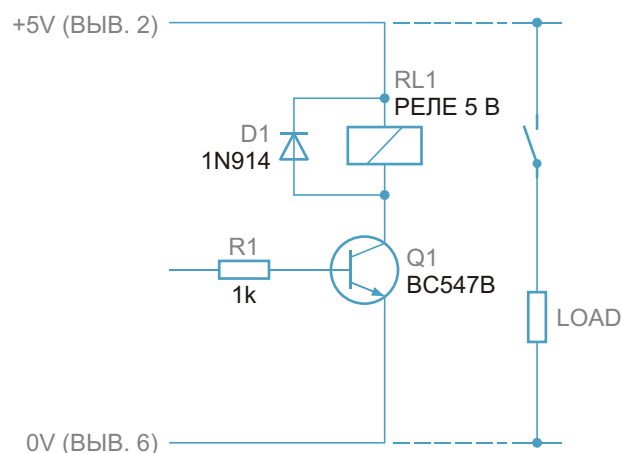


Рисунок 8. Схема подключения реле к плате RPi для управления внешними устройствами.

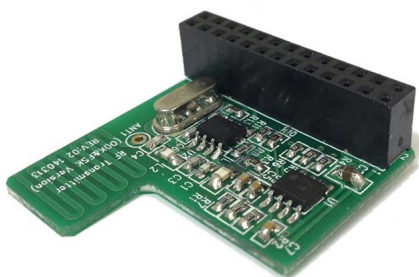


Рисунок 9. Модуль радиопередатчика Pi-mote компании Energenie для сетевых розеток с управлением по радиоканалу.

если внешнее устройство может работать от 5 В, подать питание на реле можно с вывода 2 разъема GPIO. Но и в этом случае не следует забывать о токе потребления. В противном случае реле может быть подключено к внешнему источнику питания с соблюдением мер предосторожности, исключающих попадание внешнего напряжения на RPi.

Устройства с питанием от сети

Обращение с любыми схемами или устройствами, непосредственно управляющими приборами, подключенными к сети переменного тока, требует особой осторожности. Большинство из них просто не отвечает стандартам безопасности, несмотря на то, что некоторые изготовители утверждают обратное. Достаточно безопасный подход заключается в том, чтобы найти готовое решение дистанционного управления авторитетного производителя, предлагаемое авторитетным поставщиком, в котором для управле-

ния устройствами, питающимися от сети, используются инфракрасные или беспроводные технологии. Например, компания Energenie предлагает сетевые розетки с управлением по радиоканалу в комплекте с небольшим модулем радиопередатчика (Рисунок 9), подключаемым непосредственно в разъем GPIO платы RPi, а также примеры программ на Python.

Группа реле, светодиодов или иных устройств

Для управления несколькими светодиодами, реле или другими устройствами, которые питаются от 12 В и потребляют менее 200 мА, можно использовать древнюю (выпускаемую более 25 лет) микросхему ULN2803. Микросхема представляет собой набор из восьми ключей на основе транзистора Дарлингтона. Один из вариантов подключения микросхемы ULN2803 к RPi показан на Рисунке 10.

Маломощные двигатели

Оптимальным решением для управления электродвигателями постоянного тока с помощью RPi является применение специализированных драйверов или плат расширения, к некоторым из которых можно подключать шаговые двигатели или несколько бесщеточных двигателей. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Intersil ICM7555](#)
2. [Datasheet Texas Instruments ULN2803](#)

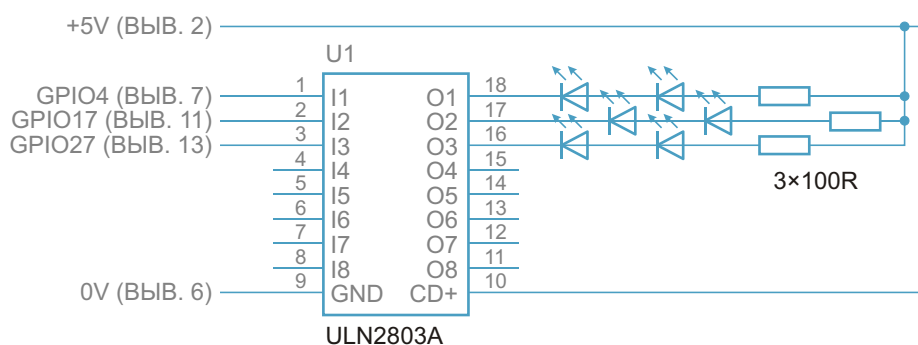


Рисунок 10. С помощью микросхемы ULN2803 можно управлять несколькими нагрузками, не требующими тока более 200 мА.

Загрузки

[Исходные коды примеров программ к первой части статьи](#)



Окончание в следующем номере

Инвертирующему усилителю выборки-хранения не нужны внешние резисторы

Marián Štofka

EDN

Во многих приложениях требуются схемы выборки, выход которых инвертирует выбранный входной сигнал. В простейшем случае для этого используется каскад из обычного неинвертирующего усилителя выборки-хранения и инвертирующего усилителя. Классический инвертирующий усилитель представляет собой операционный усилитель (ОУ) с обратной связью, образованной двумя резисторами. Сопротивления этих резисторов, обычно одинаковые, должны

быть достаточно большими, чтобы не увеличивать общие потери энергии, равные

$$P = \frac{2V^2}{R},$$

то есть, пропорциональные квадрату выходного напряжения. В то же время, значения их сопротивлений должны быть насколько возможно низкими, чтобы не ограничивать полосу пропускания ОУ.

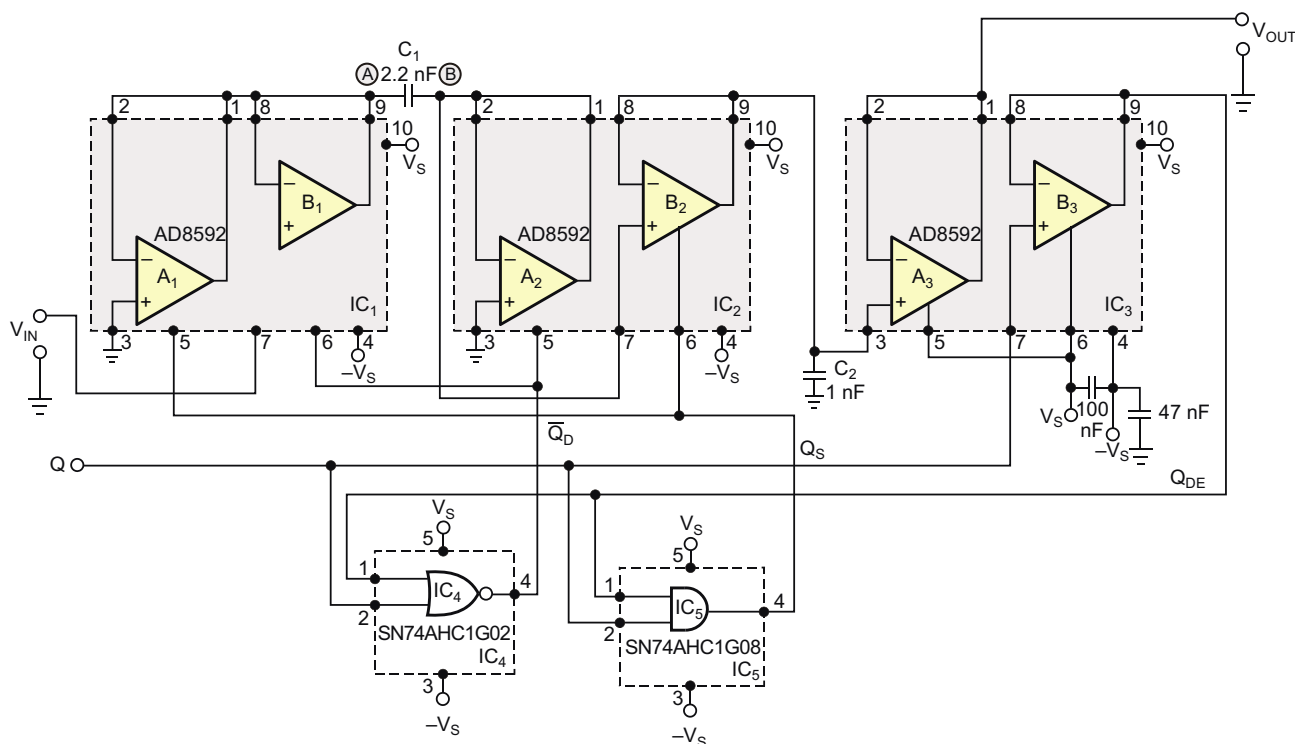


Рисунок 1. Этот усилитель выборки-хранения с коммутируемыми каскадами инвертирует входной сигнал.

Любая паразитная емкость (обозначенная C_2 в приведенном ниже выражении), параллельная резистору обратной связи R_2 , образует полюс передаточной функции инвертора. Этот полюс приводит к дополнительному спаду амплитудно-частотной характеристики инвертирующего усилителя, частотой среза которой будет равна

$$f = \frac{1}{2} \frac{1}{R_2 C_2}.$$

Чтобы сохранить максимально широкую полосу пропускания, эта частота должна быть больше частоты единичного усиления ОУ, то есть, частоты, на которой коэффициент передачи ОУ без обратной связи падает до единицы.

Выпускаемые Analog Devices сдвоенные ОУ AD8592 с функцией останова позволяют использовать другой подход. Изображенная на Рисунке 1 инвертирующая схема выборки-хранения не содержит ни одного резистора. В результате в режиме хранения никакие внешние пассивные устройства схемы не рассеивают дополнительную мощность. Все ОУ работают как повторители напряжения. В режиме хранения разрешена работа повторителей B_1 и A_2 , поэтому вывод В конденсатора C_1 , подключенный к выводу 1 микросхемы IC_2 , заземлен через выход A_2 , и входное напряжение V_{IN} отслеживается на выводе А конденсатора C_1 , подключенного к выводу 9 микросхемы IC_1 . По команде выборки уровень сигнала Q становится высоким, и в это же время вывод А конденсатора C_1 заземляется через выход повторителя A_1 . В результате на входе повторителя B_2 появляется отрицательное напряжение $-V_S$, которое, в свою очередь, в начале команды выборки заряжает конденсатор C_2 до напряжения $-V_S$. Повторитель напряжения A_3 выполняет функцию преобразователя импеданса.

Величина тока утечки на выходе повторителя напряжения в справочных данных на AD8592 в явном виде не указана, но ее можно оценить значением ниже 10 пА. Емкости кон-

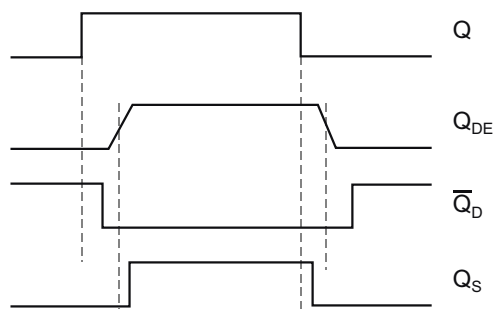


Рисунок 2. Формируемый внешней логической схемой сигнал управления Q разделяется на два квазикомплементарных сигнала, обеспечивающих правильную последовательность включения каскадов усилителя выборки-хранения.

денсаторов C_1 и C_2 могут быть очень небольшими. Кроме того, дополнительный вклад в высокую скорость заряда конденсаторов C_1 и C_2 вносят большие выходные токи ОУ, равные 250 мА.

Повторитель напряжения B_3 выполняет функцию линии задержки, которая вместе с одним логическим элементом «И» и одним «ИЛИ-НЕ» формирует два логических управляющих сигнала (Рисунок 2). Оба из этих сигналов – Q_S и $\bar{Q}_D$ – сохраняют неактивный уровень в течение достаточно долгого времени, прежде чем перейти в активное состояние с высоким уровнем, чтобы сформировать необходимую последовательность управления каскадами схемы. При высоком уровне сигнала $\bar{Q}_D$ входное напряжение отслеживается конденсатором C_1 , а по заднему фронту $\bar{Q}_D$ происходит выборка последнего значения этого сигнала. В момент перехода Q_S из низкого состояния в высокое происходит выборка сигнала, и на выходе конденсатора C_2 и, соответственно, на выходе схемы, появляется отрицательное напряжение. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices AD8592](#)
2. [Datasheet Texas Instruments SN74AHC1G02](#)
3. [Datasheet Texas Instruments SN74AHC1G08](#)

Источник постоянного тока на основе импульсного регулятора напряжения

Stefan Strozecki

EDN

Во многих приложениях требуются источники не напряжения, а тока. Если вам нужен источник большого постоянного тока, использование линейных регуляторов становится нецелесообразным из-за значительной мощности, рассеиваемой на последовательном резисторе. Решить проблему потребляемой мощности можно с помощью импульсного регулятора напряжения. В схеме, изображенной на Рисунке 1, использована микросхема импульсного понижающего преобразователя напряжения LM2576 (IC₁). Микросхема, требующая всего нескольких внешних элемен-

тов, имеет вход обратной связи FDB, который можно использовать для управления выходным током. Резистор R_{SC} служит датчиком тока. IC_{2A} – половина микросхемы операционного усилителя TL082 – используется как дифференциальный усилитель. Если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, выходное напряжение будет пропорционально току, проходящему через резистор R_{SC} . От усилителя, работающего с большими изменяющимися сигналами, требуется хороший коэффициент подавления синфазного сигнала и широкий диапазон синфазных напряжений.

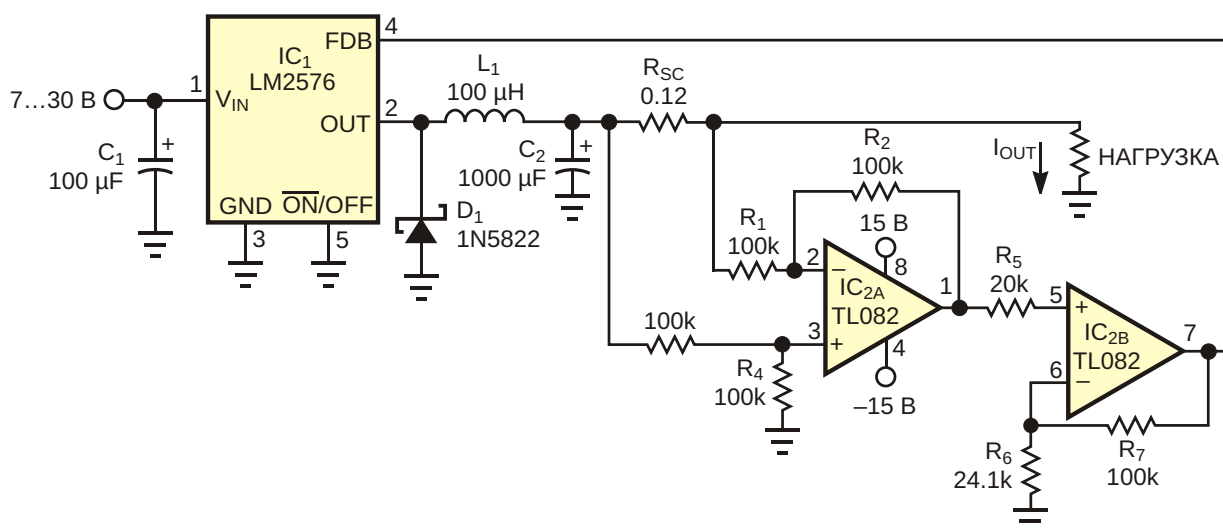


Рисунок 1. Импульсный регулятор напряжения может служить хорошей основой для источника постоянного тока.

Вторая половина операционного усилителя TL082 – IC_{2B} – включена неинвертирующим усилителем. Требуемый коэффициент усиления зависит от величины нужного вам выходного тока:

$$G = \frac{V_{REF}}{V_{SC}},$$

где

G – коэффициент усиления,

V_{REF} – напряжение внутреннего опорного источника LM2576,

V_{SC} – падение напряжения на R_{SC} .

Заметьте, что

$$V_{SC} = I_{OUT} R_{SC},$$

где I_{OUT} – выходной ток.

Например, если $I_{OUT} = 2$ А и $R_{SC} = 0.12$ Ом, то $V_{SC} = 0.24$ В. Типовое значение напряжения V_{REF} для микросхемы LM2576 равно 1.237 В. Теперь из формулы для коэффици-

ента усиления вы можете получить усиление неинвертирующего усилителя:

$$G = 5.15 \text{ В/В}.$$

Результирующий коэффициент усиления неинвертирующего усилителя равен

$$G = 1 + \frac{R_7}{R_6}.$$

Если $R_7 = 100$ кОм и $G = 5.15$, можно найти, что $R_6 = 24.1$ кОм. Если вам требуется точный выходной ток, резистор R_6 можно заменить последовательным соединением постоянного и подстроечного резистора. Испытания схемы показали, что выходной ток практически не зависит от нагрузки. Например, при изменении выходного напряжения в диапазоне от 0.3 В до 15 В выходной ток 2 А менялся менее чем на 1%. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments LM2576](#)
2. [Datasheet Texas Instruments TL082](#)

Самодельный калибратор напряжения постоянного тока и опорный источник с ошибкой менее 70 мкВ

Jordan Dimitrov

EDN

От редактора EDN:

Этот программируемый калибратор и опорный источник будет прекрасным инструментом для вашей домашней лаборатории. Даны все проектные файлы аналоговой секции, в то время как выбор микроконтроллера оставлен за вами.

В этой статье описывается самодельный калибратор напряжения постоянного тока, обеспечивающий хороший баланс между сложностью, точностью и ценой. Вы можете использовать его для проверки оборудования, калибровки АЦП и везде, где может потребоваться точный источник напряжения.

Структура, компоненты, описание работы

Блок-схема калибратора показана на Рисунке 1. Пять кнопок и двухстрочный дисплей позволяют пользователю устанавли-

вать напряжения от -5 В до $+10\text{ В}$ с разрешением 100 мкВ . Аналоговая секция, которой управляет микроконтроллер (МК), содержит высокоточный ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь), два аналоговых переключателя, два операционных усилителя и четыре согласованных резистора. Всей схеме требуются 12 линий ввода/вывода микроконтроллера. Для питания схемы используются напряжения $\pm 12\text{ В}$.

Аналоговая секция калибратора изображена на Рисунке 2. Ее центральным элементом является 16-битный ЦАП LTC2641 компании Linear Technology с типовыми значения-

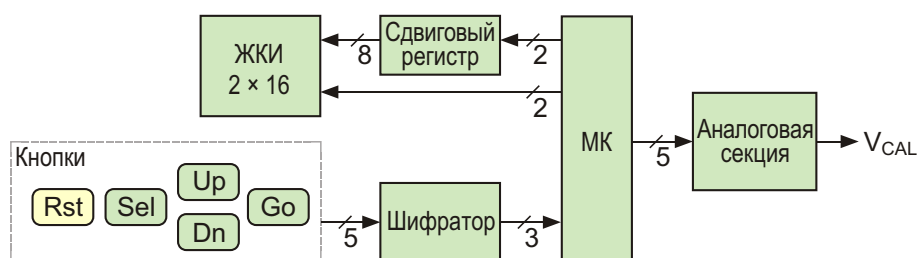


Рисунок 1. Калибратор имеет простой пользовательский интерфейс, и в моем случае требует лишь 12 линий ввода/вывода микроконтроллера. При доступности большего числа линий ввода/вывода схему можно упростить.

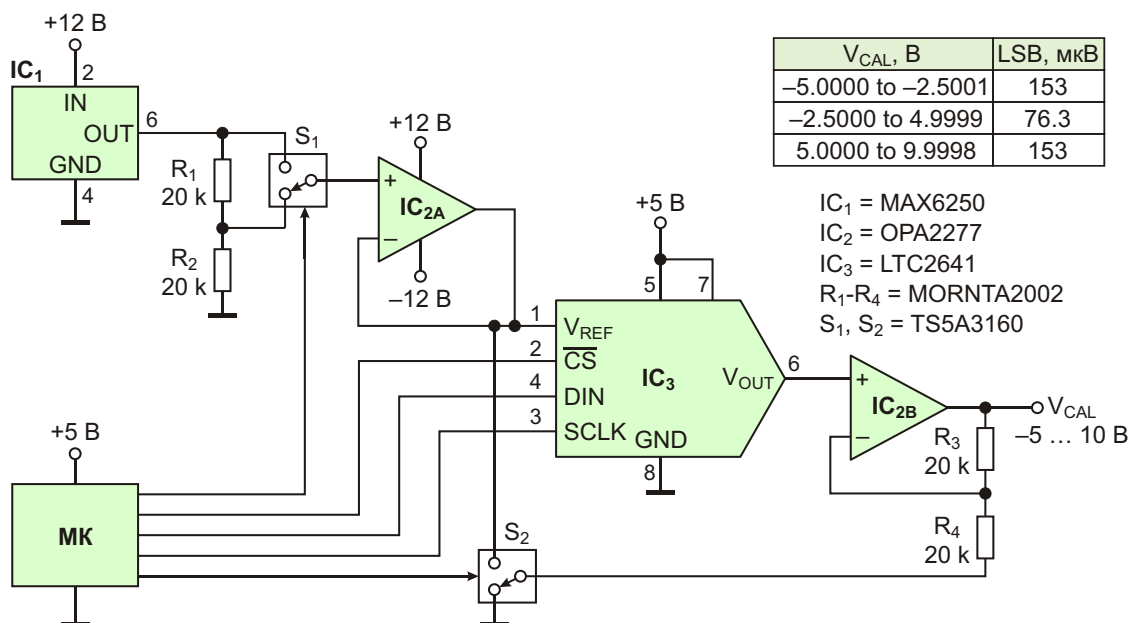


Рисунок 2. Три прецизионные микросхемы, четыре согласованных резистора и микроконтроллер составляют основу калибратора напряжения постоянного тока с разрешением 16 бит и ошибкой 70 мкВ.

ми дифференциальной и интегральной нелинейности ± 0.5 LSB (младший двоичный разряд). Максимальная величина ошибки смещения и типовая величина ошибки усиления равны 2 LSB и ± 2 LSB, соответственно.

Соответствующее качество должно быть и у остальных элементов схемы. Источник опорного напряжения MAX6225 имеет точность 1 мВ (200 ppm) и дрейф 2 ppm/°C. Максимальное напряжение смещения сдвоенного операционного усилителя OPA2277 равно 10 мкВ при температурном дрейфе 0.1 мкВ/°C. Элементы резисторной сборки MORN согласованы с точностью 0.01%, а температурный коэф-

фициент сопротивлений равен 25 ppm/°C. Сопротивления открытых ключей TS5A3160 равны всего 1 Ом, – это 0.005% от сопротивлений резисторов, что особенно важно для резистора R_4 .

Аналоговые переключатели S_1 и S_2 устанавливают четыре диапазона 0...5 В, 0...10 В, ± 2.5 В и ± 5 В с разрешением 76.3 мкВ или 153 мкВ. Наилучший для требуемого выходного напряжения диапазон микроконтроллер выбирает автоматически.

Управляется калибратор просто и интуитивно понятно. Кнопка **Reset** (Rst) сбрасывает выходное напряжение в 0.0000 В. Кнопка

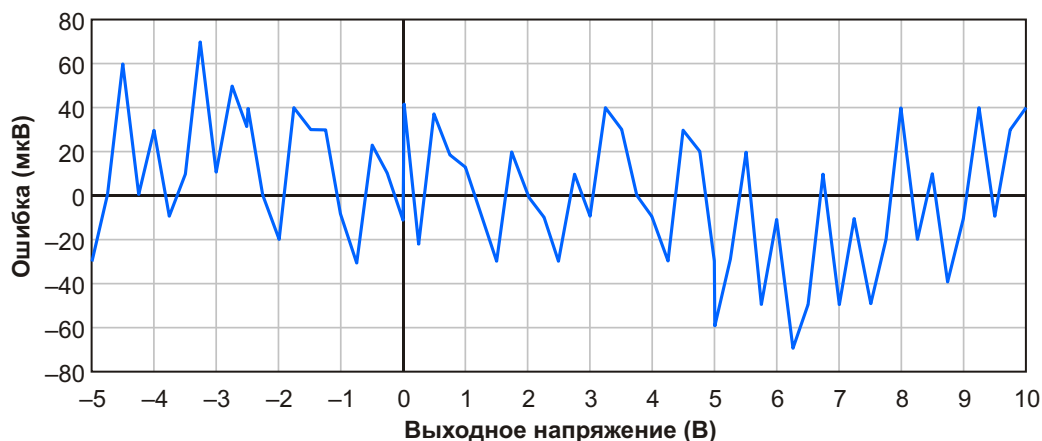


Рисунок 3. 64 калибровочные точки показывают, что максимальная абсолютная ошибка равна ± 40 мкВ при ширине диапазона 5 В, и 70 мкВ при ширине 10 В.



Рисунок 4. В моей версии калибратора использована аналоговая материнская плата собственной разработки с установленными на ней покупными модулями ЖКИ и микроконтроллера.

Select (Sel) выбирает на дисплее символ (знак или цифру) и включает его мигание. Кнопки **Up** и **Down** (Dn) изменяют значение мигающего символа. При нажатии кнопки Go мигание дисплей прекращается. Конечно же, могут быть реализованы и другие механизмы управления.

Микроконтроллер вычисляет 16-разрядные коды и посылает их в ЦАП, а также управляет аналоговыми переключателями. Сообщения об ошибках выводятся при попытках установить напряжение ниже -5.0000 В или выше 9.9998 В.

Характеристики схемы проверялись 6.5-разрядным цифровым мультиметром фирмы Keysight. Как видно из Рисунка 3, максимальная ошибка равна ± 70 мкВ – половине разрешения схемы 153 мкВ для ширины диапазона 10 В ($0 \dots 10$ В и ± 5 В). Для диапазонов шириной 5 В разрешение падает вдвое, и максимальная ошибка уменьшается до ± 40 мкВ. Это минимальные значения, которые можно получить с помощью 16-битного ЦАП и источника опорного напряжения 2.5 В или 5 В. Ошибки хорошо соответствуют разрешению 100 мкВ. Шум составлял менее 1 мкВ. Конструкцию калибратора я сделал модульной (Рисунок 4). Материнская плата имеет размеры 82×67 мм. На ней размещено большинство компонентов и два разъема: 16-контактный для дисплея и 20-контактный для платы микроконтроллера.

Сборка и программирование

Материнская плата была разработана в системе проектирования EAGLE. Если потребуется, 20-контактный разъем вы можете заменить другим, который будет соответствовать плате именно вашего микроконтроллера. Разъем можно вообще убрать, и установить микроконтроллер прямо на материнскую плату.

После сборки платы вы должны приступить к программированию микроконтроллера. Программа состоит из двух основных секций: инициализации и цикла опроса кнопок.

На этапе инициализации выполняется следующее:

- Конфигурируются порты ввода/вывода микроконтроллера;
- Инициализируется дисплей;
- На несколько секунд на дисплей выводится приветственное сообщение;
- На дисплей выводится значение 0.0000 В;
- На выходе аналоговой секции устанавливается напряжение 0.0000 В;

Опрос кнопок происходит в бесконечном цикле. При обнаружении отпущенной кнопки выполняются следующие действия:

Кнопка **Reset**:

- На дисплей выводится значение 0.0000 В и на выходе аналоговой секции устанавливается напряжение 0.0000 В;

Кнопка **Select**:

- При первом нажатии кнопки на дисплее начинает мигать знак числа;
- Если кнопка **Select** нажата вновь, начинает мигать следующий символ. Если уже мигает последний символ строки, начнет мигать символ знака.

При нажатии кнопки **Up** реакция зависит от того, какая из цифр мигает в этот момент:

- Если мигает знак, он будет заменен на противоположный;
- Если мигает цифра, ее значение увеличится на единицу. Если текущее значение равно 9 , новым значением будет 0 .

При нажатии кнопки **Down** реакция зависит от того, какая из цифр мигает в этот момент:

- Если это знак, он меняется на противоположный;
- Если это цифра, ее значение уменьшается на единицу. Если текущее значение равно 0 , следующим будет 9 ;

Таблица 1.

Строка дисплея	Номер диапазона	N_{DAC}	S_1	S_2
–9.9999 ... –5.0001	5	Сообщение об ошибке		
–5.0000 ... –2.5001	4	$N_{DAC} = N_{LCD} \times 2048 / 3125 - 32768$	1	1
–2.5000 ... 0.0000	3	$N_{DAC} = N_{LCD} \times 4096 / 3125 - 32768$	0	1
0.0001 ... 4.9999	1	$N_{DAC} = N_{LCD} \times 4096 / 3125$	0	0
5.0000 ... 9.9998	2	$N_{DAC} = N_{LCD} \times 2048 / 3125$	1	0
9.9999	6	Сообщение об ошибке		

Действие кнопки **Go** зависит от установленного напряжения. Все возможные варианты собраны в Таблице 1.

Последовательность шагов, инициируемых кнопкой **Go**, будет следующей:

- Игнорируя знак и десятичную точку, микроконтроллер преобразует дисплейную строку в число N_{LCD} ;
- В зависимости от знака числа, отображаемого на дисплее, и значения N_{LCD} , определяется номер диапазона, представленный во второй колонке Таблицы 1;
- Когда номер диапазона от 1 до 4:
 - На основании формул из третьей колонки Таблицы 1 вычисляется N_{DAC} (число, которое должно быть послано в ЦАП);
 - Число N_{DAC} посылается в ЦАП;
 - На аналоговые переключатели подаются управляющие сигналы, соответствующие двум последним колонкам таблицы;
 - Возврат к началу цикла опроса кнопок;
- Когда номер диапазона равен 5 или 6, на дисплей выводится сообщение об ошибке и происходит возврат в начало цикла опроса кнопок.

Для написания кода используйте язык, к которому вы привыкли. Си делает вычисления простыми, а разработку относительно быстрой, хотя сгенерированный код может получиться достаточно большим. С языком ассемблера все наоборот: компактный машинный код и простой обмен с устройствами ввода/вывода, но вычисления сложнее, а время разработки больше.

Несмотря на высокую линейность ЦАП, ошибки усиления и смещения могут быть относительно большими. Чтобы характеристики вашего калибратора соответствовали ожидаемым, проверьте его хорошим цифровым мультиметром (от 6.5 разрядов). Если ошибки превышают 38 мкВ или 76 мкВ (в зависимости от диапазона), скорректируйте числа, посылаемые в ЦАП.

Для справки: я использовал плату микроконтроллера MicroStamp11 компании Technological Arts [1], а программный код написал на ассемблере. Машинный код потребовал 1550 байт EEPROM и 34 байта ОЗУ. Из-за большой разрядности чисел умножение и деление эмулируются инструкциями сдвига-сложения и сдвига-вычитания. Для минимизации ошибок выходного напряжения для трех из четырех диапазонов потребовалось включить небольшие смещения. Сигналы интерфейса SPI, управляющие ЦАП, эмулируются с использованием входов/выходов общего назначения. **РЛ**

Ссылки

1. [MicroStamp11 32K Module](#)

Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTC2641](#)
2. [Datasheet Maxim Integrated MAX6250](#)
3. [Datasheet Vishay MORN](#)
4. [Datasheet Texas Instruments OPA2277](#)
5. [Datasheet Texas Instruments TS5A3160](#)

Загрузки

Проектные файлы EAGLE



Преобразователь периода в число оборотов в минуту для очень низких частот

Ricardo Jiménez, Fernando D. Pacheco, Blanca L. Rodríguez

Electronic Design

Задача измерения низких частот, возникающая во многих реальных ситуациях, таких как приложения для биомедицины или измерения скорости, сложна из-за больших периодов измеряемых временных

интервалов. Однако, используя КМОП микросхемы средней степени интеграции (Рисунок 1), ее можно решить для диапазона частот от 0.33 до 3.00 Гц (что эквивалентно 20...180 об/мин).

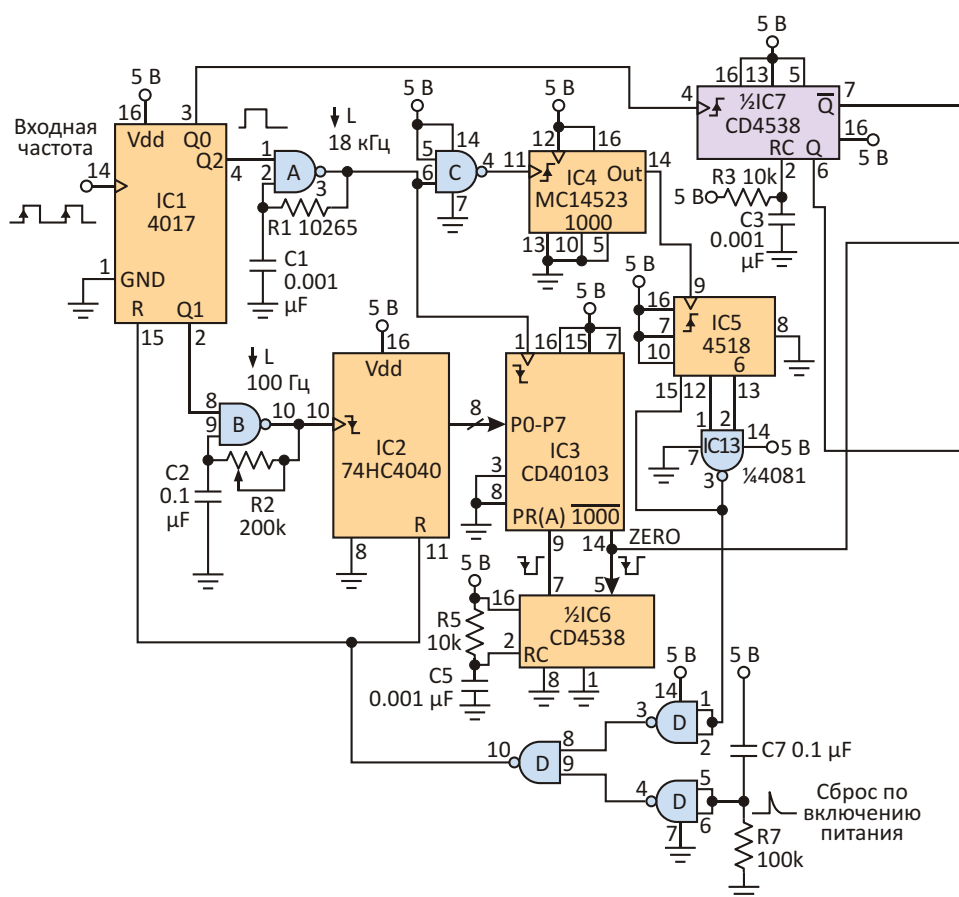


Рисунок 1. В схеме преобразователя периода в число оборотов в минуту для низкочастотных

$$\text{RPM} = \frac{60}{T},$$

Сначала схема измеряет период, подсчитывая 100-герцовые заполняющие импульсы, двоичное количество которых запоминается в счетчике 74НС4040, а затем выполняются циклы преобразования, в результате которых определяется, сколько этих периодов содержится в константе 6000.

The screenshot shows a Tektronix oscilloscope interface. The main display area shows two waveforms: a yellow square wave on the top trace and a cyan flat line on the bottom trace. The square wave has a period of approximately 100 ns. The oscilloscope settings are: 2.00V, 50.0ns, Ch1 0.000s, and 10Hz. The date and time are Jan 30, 2016, 06:29.

Генератор 18 кГц продолжает работу, и каждый раз, когда счетчик обнуляется, задние фронты его выходных импульсов запускают ждущий мультивибратор IC6 (Рисунки 2 и 3). Этот сигнал запуска служит импульсом обратной связи, который асинхронно предуславливает микросхему IC2 (CD40103), подготавливая ее к новому циклу счета. Описанный процесс повторяется для цепочки длиной 6000 импульсов.





Рисунок 3. Импульс ZERO вычитающего счетчика.

Цепочка импульсов управляется генератором 18 кГц и делителем частоты на 6000. Деление частоты производится микросхемами MC14553 (IC4), CD4518 (IC5) и логическим элементом «И», входящим в состав микросхемы IC13 (CD4081).

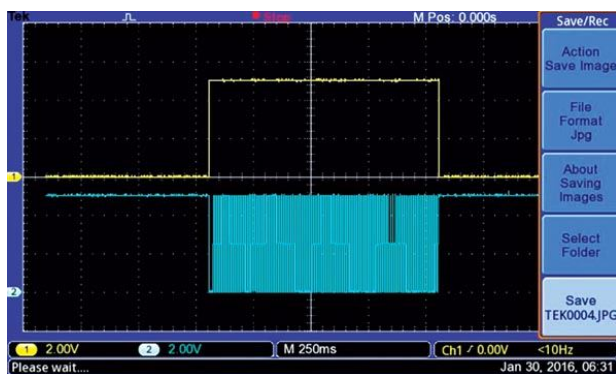


Рисунок 4. Для измерения периода используется счетчик Джонсона Q1 и 100-герцовые импульсы заполнения.

Весь процесс управляется счетчиком Джонсона CD4017 (IC1), который, фактически, является главным элементом схемы. В

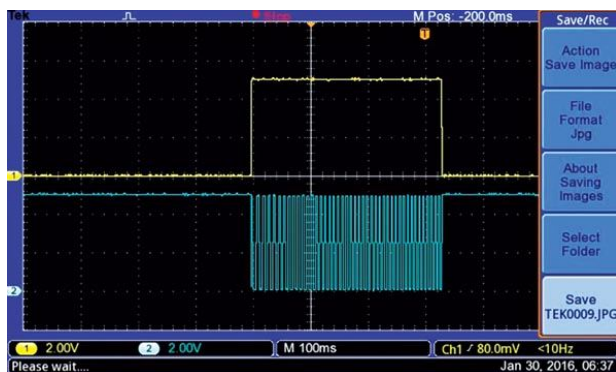


Рисунок 5. Переход выхода Q2 в состояние логической «1» разрешает работу генератора 18 кГц.

исходном положении логическая «1» присутствует на выходе Q0 этого счетчика. После прихода первого импульса логическая «1» перемещается на выход Q1 и разрешает работу генератора импульсов 100 Гц (Рисунок 4). Затем период входного сигнала фиксируется в счетчике IC2 (74HC4040).

С приходом второго импульса на выходе Q1 устанавливается логический «0», а на выходе Q2 – логическая «1», дающая старт процессу сравнения (Рисунок 5). В этом процессе используется 18-килогерцовый генератор на логическом элементе А. По завершении сравнения общее количество импульсов, накопленное в двоично-десятичных счетчиках IC8 и IC9 (оба типа CD4518), будет представлять период, измеряемый количеством импульсов в минуту.

Кроме того, по завершении процесса сравнения на выходе логического элемента «И» IC13 формируется импульс. Этот импульс очищает содержимое счетчика IC2 и сбрасывает счетчик IC1, устанавливая «1» на его выходе Q0. При смене логического уровня выхода Q0 с низкого на высокий запускаются два ждущих мультивибратора на микросхеме CD4538 (IC7), управляющих функциями *Запись* и *Сброс* двоично-десятичных счетчиков и дешифраторов ЖК дисплея (Рисунок 6). Сигнала *Фаза* для ЖК индикатора формируется еще одним 100-герцовым генератором на логическом элементе «И-НЕ» (D) с входными триггерами Шмитта, входящем в состав микросхемы CD4093.

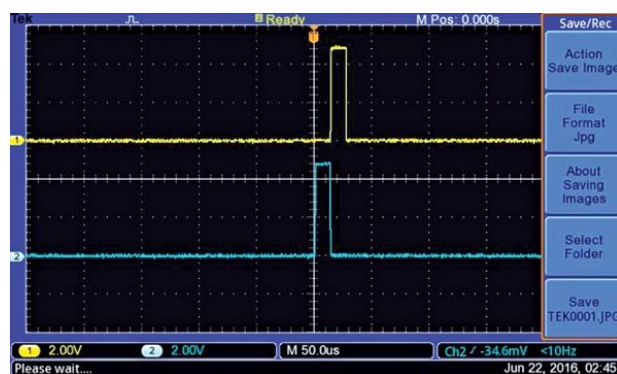


Рисунок 6. Импульсы Фаза и Сброс генерируются двумя половинами микросхемы сдвоенного мультивибратора (IC7).

Если вам нужно расширить диапазон измерений, увеличьте количество разрядов счетчика периода CD4040 и каскадно подключите второй счетчик CD40103. В связи с тем, что генератор на логическом элементе «И-НЕ» (B) имеет время задержки запуска, для ком-

пенсации задержки и получения правильных результатов счета подстроечным резистором R2 установите частоту этого генератора равной 120 Гц. RC-цепочка сброса по включению питания (R7 и C7) гарантирует, что IC1 начнет счет с состояния Q0 = 1, а IC2 начнет счет с нуля.

Частота импульсов всех используемых в схеме генераторов на логических элементах описывается формулой

$$F = \frac{1}{RC \ln \frac{V_P}{V_N} \frac{V_{DD} - V_N}{V_{DD} - V_P}}, \quad (1)$$

а время задержки импульса запуска для каждого генератора равно

$$T = RC \ln \frac{V_{DD}}{V_N}, \quad (2)$$

где

V_P – напряжение положительного порога,

V_N – напряжение отрицательного порога,

V_{DD} – напряжение источника питания 5 В.

Длительность импульсов всех используемых в схеме ждущих мультивибраторов определяется формулой

$$T = RC. \quad (3)$$

Длительность импульса сброса по включению питания равна

$$T = R7 \cdot C7 \ln \frac{V_{DD}}{V_N}. \quad (4)$$

Все использованные в этом проекте логические элементы «И-НЕ» (CD4093BE) имеют триггеры Шмитта на входе. **РЛ**

Ссылки

1. Karen Hunsberger, "[Rate Multiplier Eases Measurement of Ultra-Low Frequencies](#)," Electronic Design, June 4, 2015.
2. David Conrad, "[Frequency Quadrupler Enables Low-Frequency Measurements, Spans Up To Four Decades](#)," Electronic Design, March 6, 2014.

Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments 74HC4040](#)
2. [Datasheet Texas Instruments CD4017B](#)
3. [Datasheet Texas Instruments CD4081B](#)
4. [Datasheet Texas Instruments CD4093B](#)
5. [Datasheet Texas Instruments CD4518B](#)
6. [Datasheet ON Semiconductor CD4538BC](#)
7. [Datasheet Texas Instruments CD4543B](#)
8. [Datasheet Texas Instruments CD40103B](#)
9. [Datasheet ON Semiconductor MC14553](#)

Нестандартная схема понижающего преобразователя напряжения

Luca Bruno

EDN

С помощью изображенной на Рисунке 1 схемы вы можете получить стабилизированное пониженное напряжение, например, 5 В, из более высокого выпрямленного синусоидального напряжения, не используя излучающих помехи DC/DC преобразователей или рассеивающих большую мощность гасящих резисторов. В рассматриваемом примере для питания приложения требуется постоянное напряжение 5 В, однако с выхода транс-

форматора на двухполупериодный мостовой выпрямитель поступает напряжение 18 В с.к.з.

В течение фазы заряда два электролитических конденсатора одинаковой емкости C_1 и C_2 включены последовательно через смещенные в прямом направлении диоды D_1 и D_2 и получают зарядный ток. Р-канальный MOSFET обогащенного типа IRF9530 (Q_1) остается закрытым из-за небольшого поло-

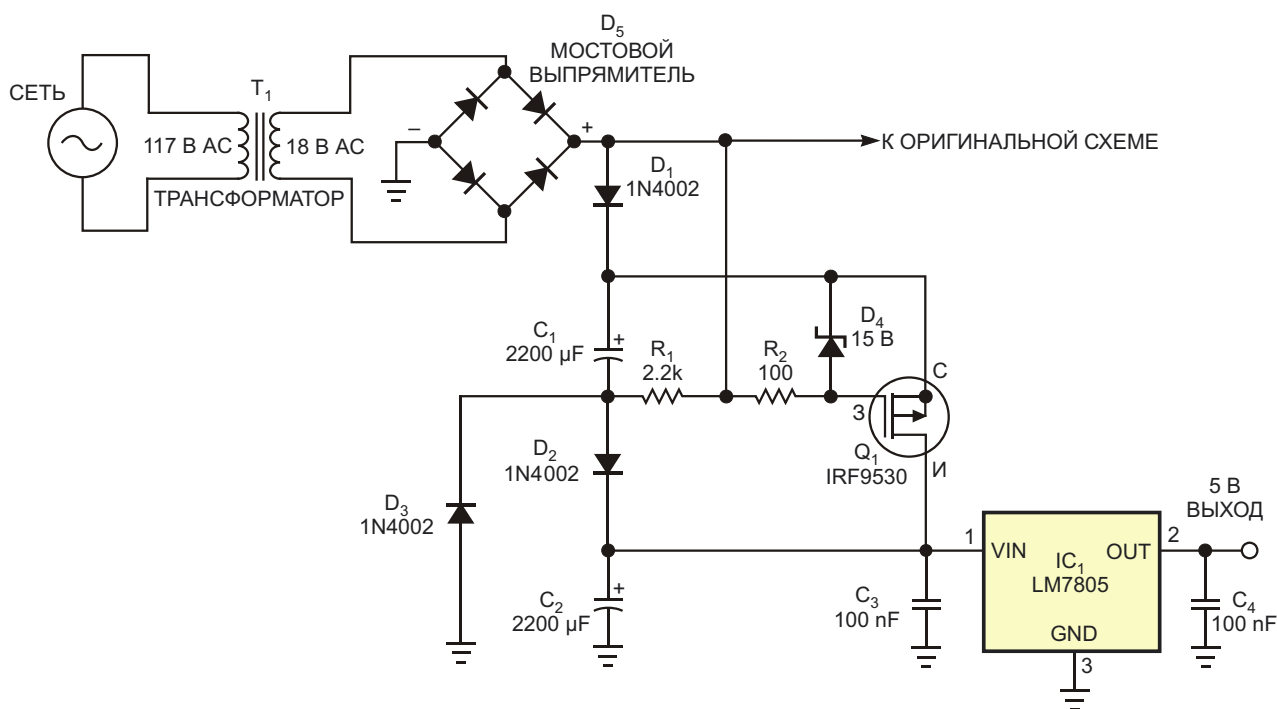


Рисунок 1. В этой нестандартной схеме понижающего преобразователя конденсаторы C_1 и C_2 заряжаются последовательно, а разряжаются параллельно, снижая напряжение, прикладываемое к входу регулятора IC_1 .

жительного смещения на затворе, создаваемого прямым падением напряжения на стабилитроне D_4 . Каждый из конденсаторов заряжается примерно до половины пикового значения выпрямленного напряжения за вычетом падений напряжения на диодах D_1 и D_2 .

В начале фазы разряда диод D_1 смещается в обратном направлении, и конденсатор C_2 разряжается через нагрузку, которой для него является регулятор напряжения IC_1 . Далее анодное напряжение диода D_1 продолжает уменьшаться, напряжение затвор-исток транзистора Q_1 становится отрицательным, и транзистор открывается, давая возможность конденсатору C_1 разряжаться на нагрузку через смещенный в прямом направлении диод D_3 . По сути, два конденсатора заряжаются последовательно, а разряжаются на нагрузку параллельно, уменьшая вдвое выпрямленное напряжение и напряжение пульсаций на входе микросхемы IC_1 . Стабилитрон D_4 защищает транзистор Q_1 во время

разряда конденсатора C_1 , ограничивая напряжение между его затвором и истоком.

Для того чтобы схема работала надлежащим образом, через нее должен протекать небольшой ток нагрузки. Обычно для этого хватает собственного тока, потребляемого микросхемой регулятора. В противном случае конденсатор C_2 будет заряжаться до пикового значения выходного напряжения диодного моста D_5 . Емкости конденсаторов C_1 и C_2 , а также параметры остальных компонентов зависят от требуемого максимального тока нагрузки. Сопротивления резисторов R_1 и R_2 не критичны. Обратите внимание, что Q_1 работает как ключ, поэтому, выбрав транзистор с низким сопротивлением открытого канала, вы ограничите мощность, рассеиваемую схемой. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Infineon IRLF9530](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM7805](#)

Усовершенствованная схема защиты лазерного диода от бросков напряжения

James Zannis

EDN

Дорогие полупроводниковые лазеры не обладают устойчивостью к быстрым скачкам напряжения или тока. Для снижения риска их повреждения используются стандартные схемы ограничения на полевых транзисторах с р-п переходом, которые в отсутствие напряжения закорачивают лазер, защищая его от таких бросков (Рисунок 1). Когда на отрицательной шине питания появляется напряжение, полевой транзистор закрывается. Схема эффективна для защиты маломощных лазерных диодов, но плохо подходит для диодов с током потребления более 150 мА.

Этот предел обусловлен значением максимального тока полевого транзистора. Если в аварийном режиме возникает необходимость ограничения тока лазерного диода, выбранный полевой транзистор может не справиться с этой задачей. Правда, существуют и сильноточные полевые транзисторы с р-п переходом, однако они существенно дороже, и их сложно найти в продаже.

Схема на Рисунке 2 позволяет избежать этих недостатков. Она похожа на стандартную схему с полевым транзистором, но дополнена биполярным транзистором, кото-

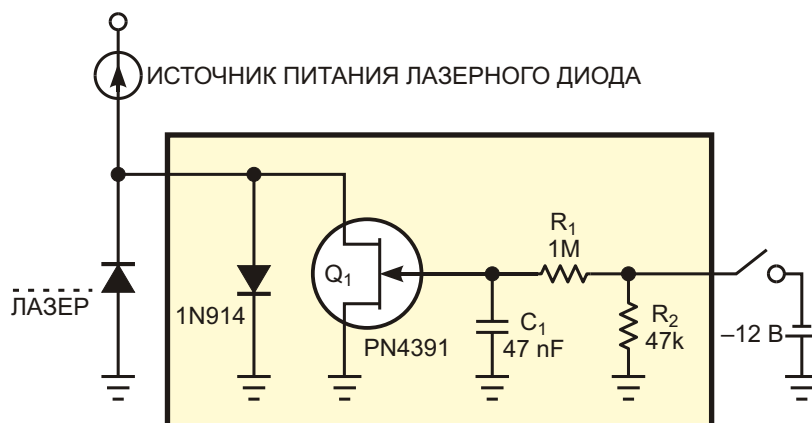


Рисунок 1. Эта схема хорошо защищает маломощные лазерные диоды, но не подходит для диодов большой мощности.

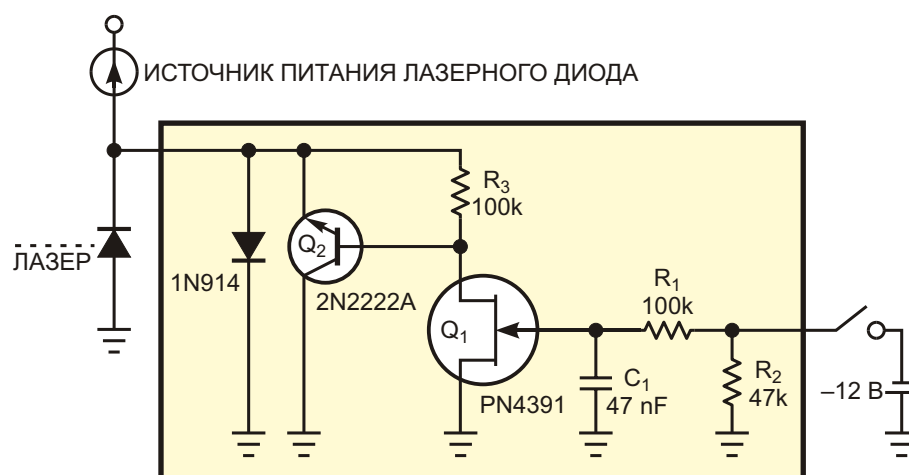


Рисунок 2. Добавление биполярного транзистора к схеме на Рисунке 1 позволяет схеме защищать более мощные лазерные диоды.

рый шунтирует большую часть отрицательных токов, когда полевой транзистор открыт. Резистор R_2 фиксирует потенциал затвора транзистора Q_1 , а R_3 обеспечивает быстрое выключение транзистора Q_2 . Диод 1N914 принимает на себя любые положительные броски тока. RC-цепочка устанавливает

достаточно низкую скорость отклика, сглаживая переходы от открытого состояния к закрытому. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Central Semiconductor PN4391](#)

Режекторный фильтр с автоматической настройкой для аудио приложений

John Ambrose

EDN

Следящие режекторные фильтры находят применение в измерителях нелинейных искажений. Кроме того, они могут применяться для удаления шумов гетеродина в аппаратуре радиолюбительской связи. Обычные следящие режекторные фильтры на основе переключаемых конденсаторов, состоящие из полосового фильтра, преобразователя напряжение-частота и заграждающего фильтра, отслеживают входной

сигнал и удаляют нежелательные тона. Полосовый фильтр в таких схемах иногда настраивается на неправильную частоту, в результате чего подавления нежелательного тона не происходит.

В предлагаемой схеме для улучшения помехоустойчивости системы используется микросхема фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) 74НС4046, способная работать на частотах до 1 МГц (Рисунок 1). Выпускаемая

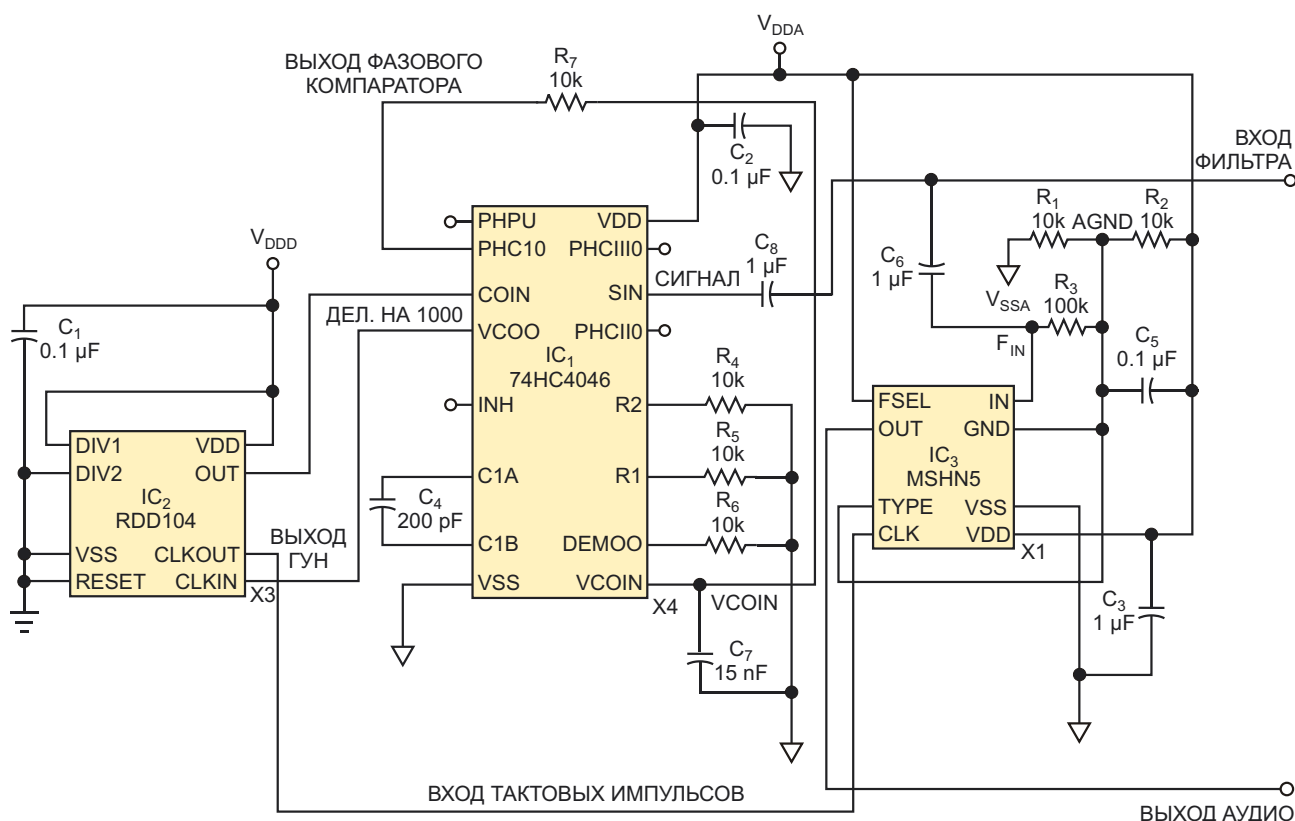


Рисунок 1. В этой схеме режекторного фильтра аудио диапазона для улучшения помехоустойчивости используется ФАПЧ.

компанией LSI Computer Systems микросхема RDD104 (IC₂) в восьмивыводном корпусе выполняет функцию делителя на 1000. В микросхеме MSHN5 (IC₃) компании Mixed Signal Integration, также выпускаемой в восьмивыводном корпусе, объединены фильтр верхних частот (ФВЧ) и режекторный фильтр, частота излома которых в 1000 раз ниже частоты их синхронизации.

Выход управляемого напряжением генератора (ГУН) микросхемы IC₁ служит входным тактовым сигналом для микросхемы IC₂. В зависимости от комбинации управляющих сигналов на входах DIV1 и DIV2, IC₂ может делить входную частоту в 10, 100, 1000 и 10,000 раз. Выход RDD104 подключается к входу COIN микросхемы IC₁. Используя фазовый компаратор «исключающее ИЛИ» микросхемы IC₁, вы можете повысить помехоустойчивость. Входной сигнал подается на IC₁, а также на вход микросхемы IC₃, которая синхронизируется выходным сигналом CLKOUT микросхемы IC₂.

Микросхема MSHN5 (IC₃) содержит ФВЧ и режекторные фильтры. Для выбора режекторного фильтра на вход FSEL микросхемы подается напряжение высокого уровня, а для выбора узкой полосы вывод TYPE подключается к шине AGND. Этим гарантируется удаление только одного тона при минимальных потерях полезной информации. При отношении входной частоты к частоте излома характеристики микросхемы IC₃, равном 1000:1, снижается вероятность того, что артефакты дискретизации будут влиять на выходной

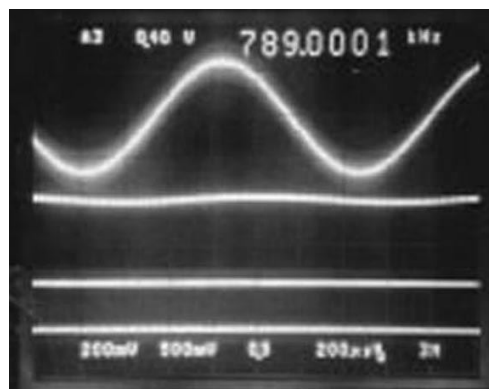


Рисунок 2. На вход схемы подается тональный сигнал (верхний луч); выходной сигнал формируется микросхемой MSHN5 (второй луч). Третий луч представляет тактовый сигнал, сформированный микросхемой ФАПЧ 74HC4046.

сигнал. Для речевых приложений, например, это означает, что в полосу пропускания не смогут попасть никакие посторонние сигналы с частотой 500 кГц или выше. В измерительной установке использовался входной сигнал частотой 789.13 Гц при частоте синхронизации 789.13 кГц — в 1000 раз превышающей частоту входного сигнала (Рисунок 2). Отслеживая входной сигнал, ФАПЧ сдвигает частоту настройки режекторного фильтра на 1.24 кГц. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments CD74HC4046A](#)
2. [Datasheet LSI Computer Systems RDD104](#)
3. [Datasheet Mixed Signal Integration MSHN5](#)

Цифровой потенциометр программирует и стабилизирует напряжение опорного источника

Chuck Wojlaw

EDN

В схемах смешанных сигналов программируемый цифровой потенциометр позволяет реализовать программное управление аналоговой частью. Использовать цифровой потенциометр в аналоговой схеме вы можете двумя способами. Можно включить его двухвыводным переменным резистором, то есть реостатом, или же трехвыводным резистивным делителем. Хотя оба способа меняют параметры аналоговой схемы, вариант с тремя выводами намного гибче и дает возможность улучшить многие характеристики. Для примера сравним два варианта программируемого источника опорного напряжения.

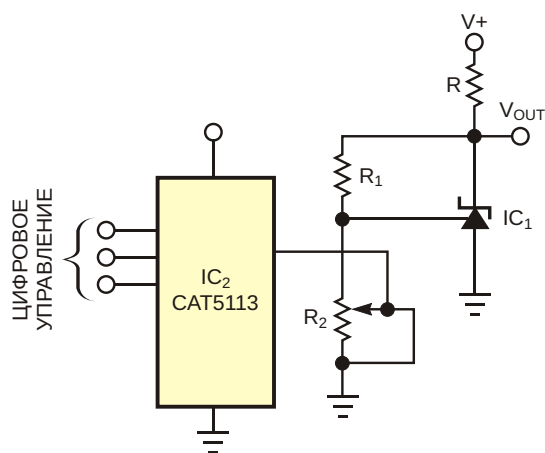


Рисунок 1. В этой схеме температурный коэффициент потенциометра оказывает негативное влияние на V_{OUT} .

На Рисунке 1 изображена схема источника опорного напряжения, выходное напряжение V_{OUT} которого зависит от напряжения внутреннего опорного источника 1.25 В шунтового регулятора IC_1 , сопротивления резистора R_1 и сопротивления программируемого цифрового потенциометра $R_2 = pR_{POT}$. Значение p меняется от 0 до 1 и представляет сопротивление потенциометра между движком и выводом, подключенным к «земле», в долях от его общего сопротивления. Для этой схемы

$$V_{OUT} = 1.25V \cdot \left(1 + \frac{pR_{POT}}{R_1}\right).$$

При изменении p от 0 до 1 V_{OUT} меняется от 1.25 В до некоторого максимального значения, зависящего от сопротивления резистора R_1 и полного сопротивления потенциометра. Температурный коэффициент напряжения V_{OUT} пропорционален температурным коэффициентам опорного напряжения 1.25 В регулятора LM4041CIZ, резистора R_1 и потенциометра R_{POT} . Температурные коэффициенты опорного напряжения и хорошего резистора всегда ниже 100 ppm/°C. Однако температурный коэффициент сопротивления R_{POT} не нормируется и может достигать сотен ppm на градус Цельсия. Таким образом, температурная стабильность R_{POT} оказывает неблагоприятное

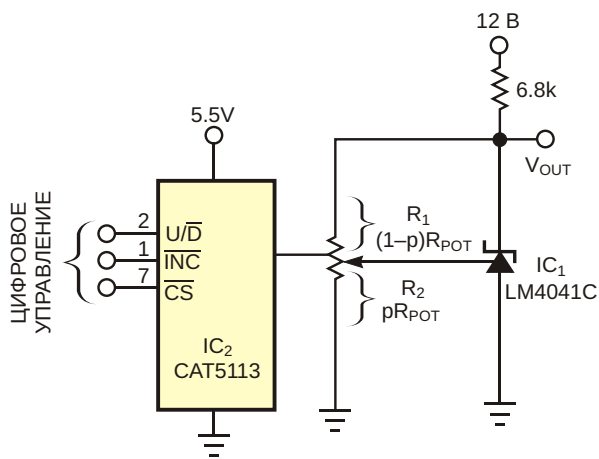


Рисунок 2. Такая схема отличается меньшим числом компонентов, низким температурным коэффициентом и лучшей точностью программирования.

риятное воздействие на температурный коэффициент V_{OUT} .

В схеме на Рисунке 2 цифровой потенциометр используется как трехвыводное устройство. Для этой схемы

$$V_{OUT} = 1.25V + 1 \cdot \frac{pR_{POT}}{(1-p)R_{POT}}$$

$$1.25V + \frac{1}{1-p}.$$

В таком варианте включения влияние большого температурного коэффициента R_{POT} на температурную зависимость V_{OUT} исключается, поскольку логометрический температурный коэффициент потенциометра равен всего 20 ppm/°C. Кроме того, здесь уменьшено количество компонентов и увеличена точность программирования напряжения. В схеме на Рисунке 1 точность установки выходного напряжения равна 15%, и определяется точностью сопротивления R_{POT} . Для схемы на Рисунке 2 эта погрешность составляет 1%, так как теперь она зависит только от отношения сопротивлений между движком и крайними выводами потенциометра. При указанных на Рисунке 2 номиналах компонентов цифровой потенциометр CAT5113 со 100 отводами обеспечивает термостабильное выходное напряжение V_{OUT} , величина которого программируется в диапазоне от 1.25 В до 5.5 В ($0 \leq p \leq 0.77$). Результаты измерений, проведенных на макете схемы, совпадают с расчетными значениями с точностью выше 1%. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet ON Semiconductor CAT5113](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM4041CIZ](#)

РадиоЛоцман.Журнал

Приложение для мобильных устройств (планшетов и смартфонов)



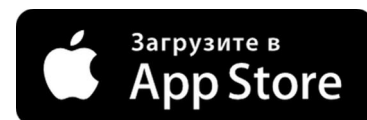
ANDROID » GOOGLE PLAY



<https://play.google.com/store/apps/details?id=net.magtoapp.viewer.radiolocman>



iOS (iPhone, iPad) » APP STORE



<https://itunes.apple.com/ru/app/radiolocman.zurnal/id1083434484?mt=8>

Устанавливайте приложение и скачивайте!
Доступен весь архив номеров журнала.