



# РАДИОЛОЦМАН



Июль 2017 (74)

Импульсное  
преобразование  
переменного  
тока

24

42 Коммутация и защита  
в системах с  
батарейным питанием

В чем различие  
между  
ПЛК и ПКА?

33

54 Цифровая  
паяльная  
станция на  
ATtiny13





## РАДИОЛОЦМАН.ЖУРНАЛ

[www.rlocman.ru/magazine](http://www.rlocman.ru/magazine)

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

## РАДИОЛОЦМАН.ФОРУМ

[www.rlocman.ru/forum](http://www.rlocman.ru/forum)

Обсуждайте статьи и новости, общайтесь!  
Приглашаем профессионалов.

## РАДИОЛОЦМАН.ЦЕНЫ

[www.rlocman.ru/price](http://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](http://vk.com/rlocman)



[facebook.com/rlocman](http://facebook.com/rlocman)



[odnoklassniki.ru/rlocman](http://odnoklassniki.ru/rlocman)



[twitter.com/rlocman](http://twitter.com/rlocman)

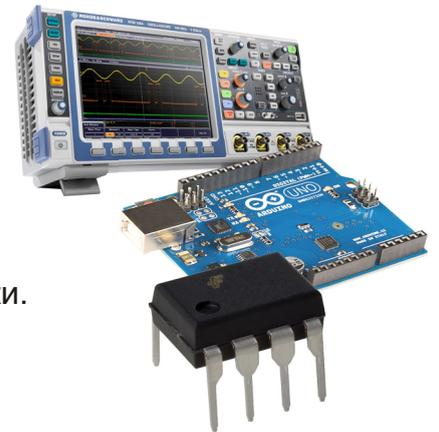


[google.com/+RlocmanRuPlus](http://google.com/+RlocmanRuPlus)

И еще многое другое на портале:

## РАДИОЛОЦМАН. ...

[www.rlocman.ru](http://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 Analog Devices сообщает о выпуске двухканального 6-амперного понижающего регулятора с рабочей частотой 4 МГц
- 5 IXYS ICD представляет новые недорогие 5-амперные драйверы затворов
- 6 Высокочувствительный датчик приближения и окружающего света компании Vishay Intertechnology обнаруживает объекты на расстоянии до 1.5 м
- 7 Быстродействующий 150-вольтовый драйвер затвора MOSFET верхнего плеча работает при коэффициенте заполнения до 100%
- 8 Ampleon начала производство 20-ваттного СВЧ усилителя мощности со сверхнизким тепловым сопротивлением
- 9 Diodes Incorporated улучшила характеристики диодов Шоттки на 20%
- 10 Самый экономичный в отрасли ОУ с нулевым дрейфом потребляет всего 1.3 мкА
- 11 Характеристики защиты сверхминиатюрных TVS диодов STMicroelectronics не имеют аналогов в отрасли
- 12 Holtek анонсировала контроллер бесщеточных электродвигателей постоянного тока с новой архитектурой IT
- 12 Diodes представила самый высоковольтный в отрасли контроллер MOSFET для систем резервного питания
- 13 150-вольтовый понижающий DC/DC преобразователь не требует внешних защитных устройств
- 15 Микромощные детекторы напряжения Diodes контролируют источники питания компьютерных и цифровых систем
- 15 Silego начала производство делителей мощности, устойчивых к броскам напряжения до 130 В
- 17 Microchip выпускает первые в отрасли высокотемпературные приемопередатчики CAN FD и CAN PN
- 18 Melexis анонсировала новый шлюз шины LIN
- 19 С новыми МШУ компании NXP интеллектуальные соединения станут быстрее и надежнее
- 20 XMOS анонсирует выпуск речевого процессора XVF3000 и наборы разработчика VocalFusion Speaker для захвата голоса из удаленных источников звука
- 21 CML Microcircuits анонсировала выпуск двоярного синтезатора частот с интегрированным ГУН
- 22 Custom MMIC выпустила корпусированную версию усилителя с полосой пропускания от 2 ГГц до 22 ГГц

## Статьи

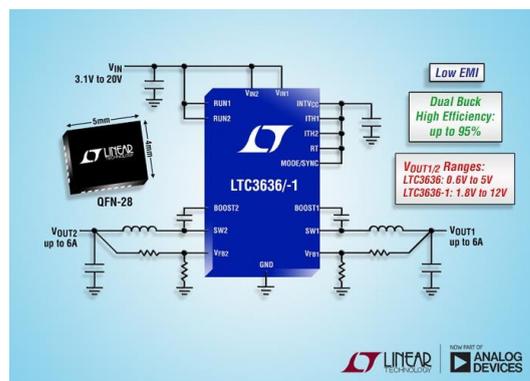
- 24 Импульсное преобразование переменного тока
- 33 В чем различие между ПЛК и ПКА?
- 36 Использование импульсного преобразователя для питания прецизионного АЦП последовательных приближений в микромощных приложениях
- 42 Коммутация и защита в системах с батарейным питанием
- 46 Слишком много проводов? Сделайте себе органайзер

## Схемы

- 48 Что нужно знать о портах ввода-вывода Raspberry Pi. Часть 2
- 54 Цифровая паяльная станция на ATtiny13
- 56 Преобразователь периодических сигналов в прямоугольные импульсы
- 58 Переверните регулятор отрицательного напряжения «вверх ногами», чтобы сделать биполярный источник питания
- 60 Цепочка весовых конденсаторов позволяет сократить число линий интерфейса кодового переключателя
- 64 Прецизионный передатчик/калибратор токовой петли с широким диапазоном напряжений питания
- 66 КПД умножителя напряжения на коммутируемых конденсаторах достигает 95%
- 68 Две функции одной кнопки в простой микропроцессорной системе
- 70 Удвоение частоты и разрешения ШИМ микроконтроллеров

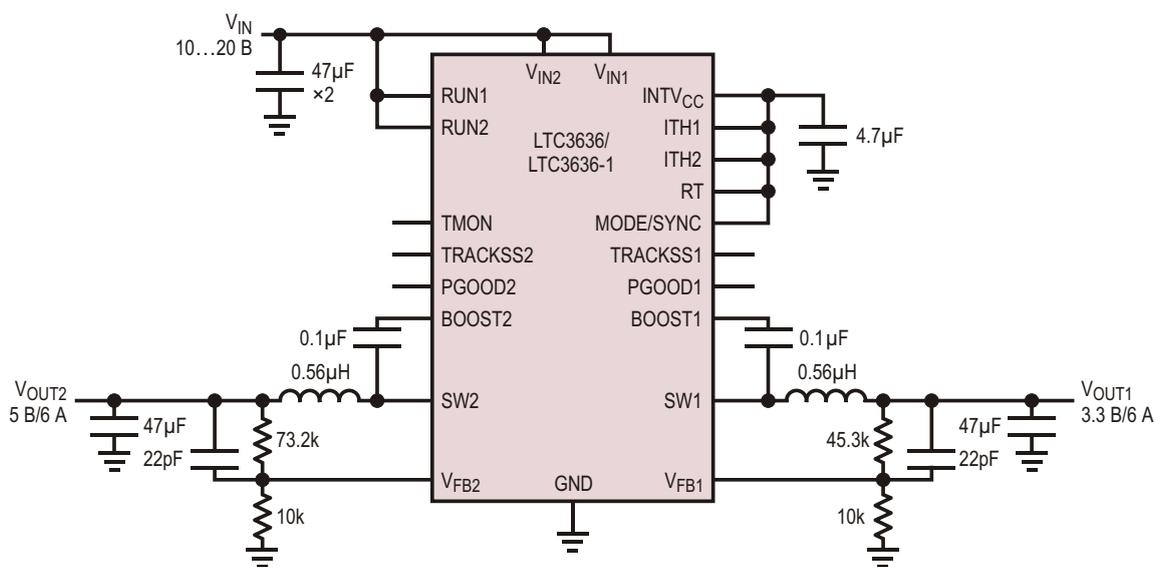
## Аnalog Devices сообщает о выпуске двухканального 6-амперного понижающего регулятора с рабочей частотой 4 МГц

Аnalog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, сообщила о выпуске двух новых микросхем LTC3636 и LTC3636-1 – высокоэффективных двухканальных синхронных понижающих преобразователей с частотой переключения до 4 МГц. В микросхеме реализован уникальный метод стабилизации по току индуктивности с фазовой синхронизацией частоты переключения и управляемым временем включения. Кроме того, инновационная архитектура устройств снижает уровень помех излучения и проводимости. Устройства могут из каждого канала отдавать в нагрузку непрерывный ток до 6 А, или же, при соответствующем изменении конфигурации, выполнять функцию одноканального двухфазного преобразователя с выходным током до 12 А. Микросхемы выпускаются в компактных корпусах QFN размером 4 мм × 5 мм и способны стабилизировать выходное напряжение начиная от 0.6 В. Частота переключения программируется пользователем в диапазоне от 500 кГц до 4 МГц, позволяя использовать крошечные дешевые конденсаторы и индуктивности. Имеется также возможность синхронизации преобразователей от внешнего сигнала. LTC3636/-1 работают при входных напряжениях от 3.1 В до 20 В, стабилизируя выходные напряжения от 0.6 В до 5 В (LTC3636) или от 1.8 до 12 В (LTC3636-

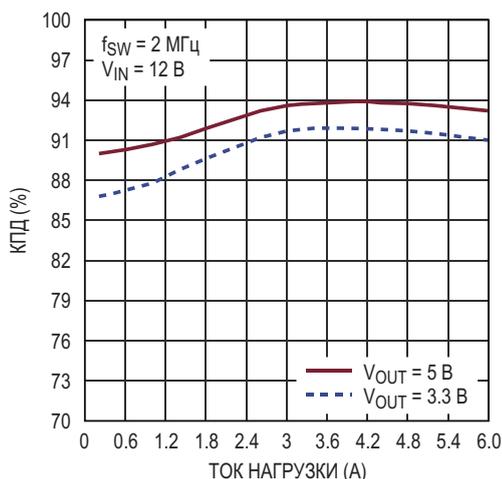


1). Приборы идеально подходят для приложений с питанием от двухэлементных Li-Ion батарей, а также для систем с промежуточными шинами 5 В и 12 В.

В каждом канале LTC3636/-1 используются интегрированные ключи на основе MOSFET с сопротивлениями открытых каналов всего 32 мОм и 18 мОм, обеспечивающие КПД до 95%. Не имеющая аналогов архитектура системы управления позволяет уменьшать коэффициенты заполнения ШИМ до 5% при частоте до 2.25 МГц и идеально подходит для приложений с большими степенями понижения, таких как преобразователи напряжения 12 В в 1.8 В. Два канала работают противофазно со сдвигом 180°, минимизируя размеры как входных, так и выходных конденсаторов. Объединив два выхода, можно получить конфигурацию одноканального двух-



Типовая схема включения LTC3636/-1.



Зависимость КПД от тока нагрузки.

фазного преобразователя с выходным током до 12 А. Для увеличения КПД при легких нагрузках используется пульсирующий режим, в котором собственный ток, потребляемый преобразователями, снижается до 600 мкА. Для приложений с особо строгими требованиями к уровню шумов LTC3636/-1 можно сконфигурировать для работы в принудительном режиме непрерывной проводимости, уменьшающем пульсации выходного напряжения и снижающем вероятность возникновения радиочастотных помех. В устройства интегрированы мониторы температуры кристалла и выходного напряжения, независимые схемы управления параметрами мягкого запуска для каждого канала, цепи защиты от коротких замыканий, повышенного входного напряжения и перегрева кристалла.

LTC3636 выпускается в корпусе QFN-28 размером 4 мм × 5 мм со сниженным тепловым сопротивлением. Характеристики микросхем групп E и I гарантируются в диапазоне рабочих температур перехода от -40 °C до 125 °C. Цены, установленные на микросхемы группы E для партий объемом

1000 приборов начинаются от \$4.45 за штуку. Все преобразователи имеются в наличии на складе компании.

### Сводка основных характеристик LTC3636/-1

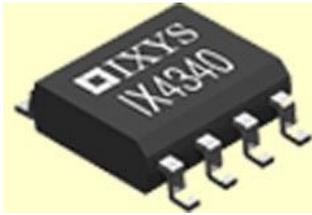
- Диапазон входных напряжений от 3.1 В до 20 В;
- Ультранизкий уровень помех излучения и проводимости;
- Выходной ток 6 А на канал;
- КПД до 95%;
- Диапазоны выходных напряжений:
  - от 0.6 В до 5 В (LTC3636),
  - от 1.8 В до 12 В (LTC3636-1);
- Монитор температуры кристалла;
- Программируемая частота переключения: 500 кГц ... 4 МГц;
- Возможность синхронизации от внешнего генератора;
- Режим стабилизации по току индуктивности, обеспечивающий отличную скорость отклика на скачки входного напряжения и тока нагрузки;
- Напряжение опорного источника 0.6 В, позволяющее стабилизировать низкие выходные напряжения;
- Пульсирующий режим или принудительный режим непрерывной проводимости, устанавливаемые по выбору пользователя;
- Схема отслеживания выходного напряжения и управления параметрами мягкого запуска;
- Защита от коротких замыканий;
- Защита от повышенного входного напряжения и перегрева кристалла;
- Статусный выход «Питание в норме»;
- Низкопрофильный 28-выводной корпус QFN с размерами 4 мм × 5 мм.

## IXYS ICD представляет новые недорогие 5-амперные драйверы затворов

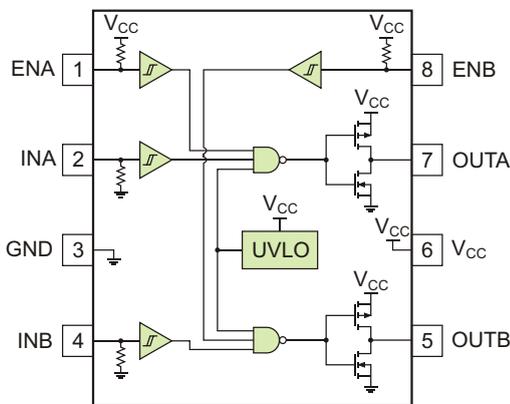
*IX4340 может управлять большинством MOSFET и IGBT, выпускаемых компанией IXYS*

Отделение интегральных схем компании IXYS (IXYS ICD) сообщило о доступности недорогих сдвоенных 5-амперных драйверов затворов IX4340. Микросхемы имеют два сильноточных выхода, каждый из которых

рассчитан на втекающий или вытекающий ток до 5 А. Предельные выходные напряжения каналов равны 20 В. Благодаря согласованности задержек распространения, в приложениях, требующих больших токов, выхо-



ды драйвера можно соединять параллельно. Логические входы микросхем совместимы с уровнями ТТЛ и КМОП логики, а каждый канал имеет вывод разрешения выхода. Схема блокировки при пониженном входном напряжении (UVLO) защищает транзисторы верхнего плеча от преждевременного включения до установления достаточного напряжения питания.



Функциональная схема IX4340.

Благодаря малому времени задержки распространения (16 нс тип.) и крутым фронтам нарастания и спада (7 нс тип.), IX4340 хорошо подходит для использования в высокочастотных приложениях. Драйвер работает в расширенном диапазоне температур от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выдерживает разряды статического электричества до  $\pm 4\text{ кВ}$  (при воздействии модели человеческого тела). IX4340 поставляются в 8-выводном корпусе SOIC со сниженным тепловым сопротивлением (IX4340NE) или в стандартном 8-выводном корпусе SOIC (IX4340N).

Недорогие драйверы IX4340 хорошо подходят для управления мощными MOSFET и IGBT в импульсных источниках питания, инверторах, DC/DC преобразователях и приводах двигателей. IX4340 является новейшим дополнением к большому семейству драйверов затворов, производимых компанией IXYS ICD. Для более сильноточных приложений IXYS ICD предлагает микросхемы драйверов затворов семейств IXD\_614 (14 А) и IXD\_630 (30 А).

### Цена и доступность

IX4340 освоены в серийном производстве; доступны также единичные образцы микросхем. OEM производителям драйверы поставляются по цене \$0.45 за штуку при заказе не менее 10,000 приборов.

## Высококчувствительный датчик приближения и окружающего света компании Vishay Intertechnology обнаруживает объекты на расстоянии до 1.5 м

*Компактное устройство, в котором для надежного подавления фоновой засветки реализована технология Filtron, предназначено для использования в приложениях «умного дома», а также в промышленных и офисных системах*

Оптоэлектронное подразделение компании Vishay Intertechnology представило новый высококчувствительный датчик приближения и уровня окружающей освещенности в компактном корпусе для поверхностного монтажа с размерами 8 мм × 3 мм × 1.8 мм. В устройстве VCNL4200 объединены мощный инфракрасный излучатель, фотодетектор приближения с дальностью обнаружения до 1.5 м, фотодатчик окружающего света, микросхема обработки сигналов, 12-/16-битный АЦП и интерфейс I<sup>2</sup>C с функцией формирова-



ния сигнала прерывания. Датчик предназначен для использования в приложениях «умного дома», а также в промышленных и офисных системах.

Датчик приближения, дальность обнаружения которого по сравнению с устройствами предыдущих поколений увеличена на 50%, обеспечивает определение присутствия для активации дисплеев в принтерах, копировальных аппаратах и бытовых приборах, для предотвращения столкновений в игрушках и роботах, для управления включением освещения в офисах, коридорах, санузлах и публичных местах, а также для информирования о наличии парковочных мест на стоянках и в гаражах. Объединив все схемы, необходимые для этих приложений, в одном устройстве, датчик не требует дополнительных световых барьеров и оптического совмещения ИК излучателя и фотодиода. Небольшие габариты устройства экономят место на плате и дают разработчикам большую свободу выбора в отношении места и способа размещения датчика.



Каждый из датчиков приближения и окружающего света работает автономно, имея собственную программируемую функцию прерывания по выходу за пределы верхнего

или нижнего порога, позволяя датчику пробуждать приложение, находящееся в режиме пониженного энергопотребления, для снижения общей рассеиваемой мощности. Реализованная в устройстве технология Filtron позволяет приблизить спектральную чувствительность датчика окружающего света к человеческому глазу и отлично подавляет фоновую засветку.

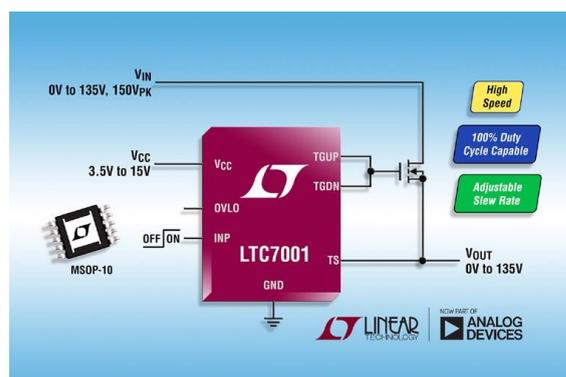
Встроенный в VCNL4200 фотодиодный датчик окружающего света воспринимает уровни освещенности от 0.003 лк до 1.57 клк, позволяя использовать устройство в конструкциях как с темной, так и с прозрачной оптикой. 16-битный датчик невосприимчив к мерцанию ламп дневного света и отлично термокомпенсирован в диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . В 12-битном датчике приближения используется технология интеллектуального подавления перекрестных помех, в то время как «умная» схема защиты от ложных сигналов обеспечивает точное измерение и более быстрый отклик. Пиковая длина волны излучения светодиода равна 940 нм и не имеет красного «хвоста» в видимой области.

Устройство питается напряжением от 2.5 В до 3.6 В и поддерживает шину I<sup>2</sup>C с уровнями сигнала от 1.8 В до 3.6 В. Поставляемые в 10-выводных бессвинцовых корпусах QFN датчики VCNL4200 не содержат галогенов и соответствуют требованиям директивы RoHS и экологической инициативы Vishay Green.

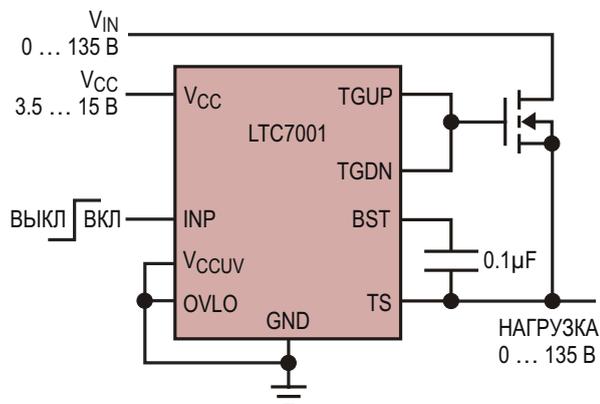
В настоящее время доступны как единичные образцы, так и промышленные партии приборов VCNL4200. Сорок выполнения заказов большого объема составляет 12 недель.

## Быстродействующий 150-вольтовый драйвер затвора MOSFET верхнего плеча работает при коэффициенте заполнения до 100%

Analog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, анонсировала выпуск микросхемы высокоскоростного драйвера N-канального MOSFET верхнего плеча, работающего при напряжении питания до 150 В. Внутренний зарядовый насос микросхемы LTC7001 полностью обогащает канал внешнего N-канального MOSFET, позволяя ему оставаться во включенном состоянии неограниченное время. Мощный драйвер затвора



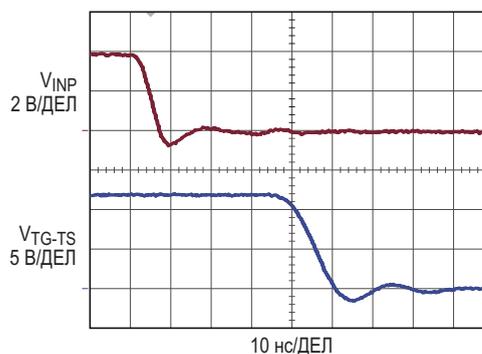
LTC7001 с выходным сопротивлением 1 Ом легко управляет большой емкостью затвора MOSFET, обеспечивая очень короткие времена задержек распространения с типовыми значениями 35 нс. Микросхема хорошо подходит как для высокочастотных, так и для статических коммутационных приложений.



Высоковольтный ключ верхнего плеча с коэффициентом заполнения до 100%.

Устройство предназначено для приема привязанных к «земле» низковольтных цифровых входных сигналов и быстрого управления мощным N-канальным MOSFET верхнего плеча, сток которого может быть к подключен к источнику напряжения от 0 В до 135 В (максимально допустимое значение 150 В). Для питания LTC7001 необходимо напряжение от 3.5 В до 15 В. Драйвер имеет регулируемый порог блокировки при пониженном входном напряжении. Время нарастания и спада, при работе на нагрузку 1000 пФ равное лишь 13 нс, минимизирует потери переключения. Время нарастания при включении выходного каскада и порог блокировки при чрезмерном входном напряжении могут регулироваться пользователем.

LTC7001 выпускается в корпусе MSOP-10 с конфигурацией выводов, оптимизированной для использования при высоком напряжении питания. Предлагаются три версии драйверов: рассчитанная на расширенную и



Поведение LTC7001 в схеме управления емкостной нагрузкой 1 нФ.

промышленную рабочую температуру перехода от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , высокотемпературная автомобильная для диапазона от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  и военная версия, предназначенная для использования в диапазоне от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В партиях из 1000 микросхем цена одного прибора начинается от \$2.40.

### Сводка основных характеристик LTC7001

- Широкий диапазон рабочих напряжений: 0 В ... 135 В (абсолютное предельное значение 150 В);
- Внутренний зарядовый насос для поддержки режима работы с коэффициентом заполнения ШИМ, равным 100%;
- Сопротивление 1 Ом открытого канала транзистора нижнего плеча и 2.2 Ом транзистора верхнего плеча обеспечивают быстрое включение и выключение;
- Малая задержка распространения сигнала: 35 нс;
- Регулируемая скорость нарастания при включении;
- Напряжение питания драйвера затвора от 3.5 В до 15 В;
- Регулируемый порог блокировки при повышенном напряжении питания;
- Регулируемый порог блокировки при пониженном входном напряжении;
- Совместимость входов с КМОП логикой.

## Ampleon начала производство 20-ваттного СВЧ усилителя мощности со сверхнизким тепловым сопротивлением

Компания Ampleon начала производство 20-ваттного однокаскадного радиочастотного усилителя широкого назначения

BLP9G0722-20G. Бюджетное LDMOS устройство с рабочим напряжением 28 В предназначено для широкого диапазона приложе-



ний, работающих в диапазоне частот от 0.4 ГГц до 2.7 ГГц.

По сравнению с доступными на рынке устройствами LDMOS BLP9G0722-20G имеет на 3...5% более высокий КПД, на 0.5 дБ большую пиковую мощность и втрое меньшее тепловое сопротивление. Прибор может использоваться для прямой замены более дорогих и менее совершенных анало-

гов. Благодаря широкой полосе пропускания, усилитель может найти применение во множестве различных конструкций. При проектировании усилителя особое внимание было уделено снижению теплового сопротивления для обеспечения надежности и стабильности характеристик.



Усилитель BLP9G0722-20G выпускается серийно в пластмассовом корпусе TO270 и имеется на складах авторизованных дистрибьюторов Ampleon.

## Diodes Incorporated улучшила характеристики диодов Шоттки на 20%

Компания Diodes представила новую серию диодов Шоттки SDT. Применение усовершенствованного технологического процесса с глубокими изолирующими канавками позволило создать устройства с превосходными характеристиками при такой же, или более низкой цене, чем у планарных аналогов. На первом этапе в семейство вошло 29 устройств в корпусах со сниженным тепловым сопротивлением, которые могут использоваться в качестве обратных, блокировочных и обратных диодов в широком диапазоне таких приложений, как AC/DC зарядные устройства и адаптеры, повышающие и понижающие DC/DC преобразователи, а также светодиодные источники света с питанием от переменного напряжения.

Использованный при изготовлении диодов серии SDT инновационный техпроцесс с глубокими изолирующими канавками позволил одновременно снизить прямое напряжение до 0.62 В и ток утечки до 3.5 мкА. Эти уникальные характеристики обеспечивают превосходный КПД мощности и малые размеры конструкций законченных систем. Максимальные выпрямленные токи семейства



находятся в диапазоне от 5 А до 40 А, повторяющиеся пиковые обратные напряжения достигают 120 В, а наибольший прямой импульсный ток равен 280 А.

Корпуса PowerDI5, TO220AB и ITO220AB с отличными параметрами теплопередачи гарантируют надежность работы диодов Шоттки серии SDT в самых тяжелых условиях эксплуатации. Эти корпуса хорошо подходят для массового производства и позволяют использовать компоненты серии SDT для прямой замены стандартных планарных диодов Шоттки.

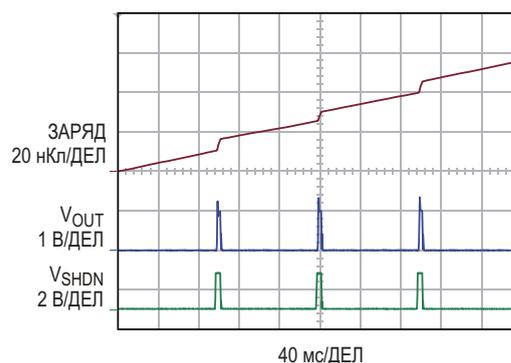
## Самый экономичный в отрасли ОУ с нулевым дрейфом потребляет всего 1.3 мкА

Analog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, анонсировала выпуск операционного усилителя с нулевым дрейфом, потребляющего всего 1.3 мкА (максимум 2 мкА) при напряжении питания 1.8 В. Микро-мощный усилитель LTC2063 отличается беспрецедентной точностью: максимальное напряжение смещения равно 5 мкВ при температуре 25 °С, а дрейф смещения во всем диапазоне рабочих температур от -40 °С до 125 °С не превышает 0.06 мкВ/°С. Максимальный входной ток смещения равен 15 пА при температуре 25 °С, и 100 пА в диапазоне от -40 °С до 125 °С. Столь высокий уровень характеристик входных каскадов позволяет использовать в цепях обратной связи высокоомные резисторы, чтобы снизить потребление мощности, не теряя при этом точность даже при повышенной температуре.



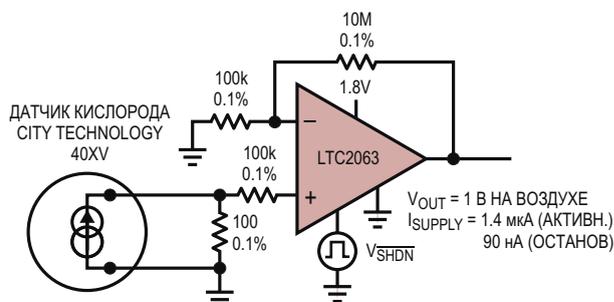
Rail-to-rail входы и выходы LTC2063 упрощают использование усилителей в схемах с однополярным питанием и расширяют динамический диапазон. Интегрированный фильтр обеспечивает подавление электромагнитных помех до 114 дБ на частоте 1.8 ГГц. Благодаря характерному для архитектуры усилителей с нулевым дрейфом низкому уровню фликкер-шумов (1/f), LTC2063 хорошо подходит для усиления и нормализации низкочастотных сигналов датчиков, работающих при высоких температурах в промышленных и автомобильных системах, а также в портативных приложениях и в сетях беспроводных датчиков.

LTC2063 выпускаются в корпусах SOT-23 и SC70. Версия в корпусе SC70 имеет дополнительный вход отключения, позволяющий



*Циклический режим работы снижает среднюю мощность, потребляемую системой. (ЗАРЯД – это проинтегрированный ток потребления. Степень отклонения от прямой линии характеризует уровень дополнительных потерь переходного режима).*

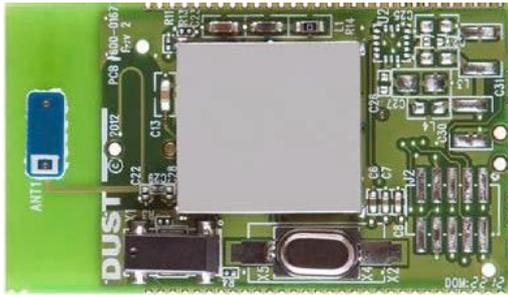
на то время, пока усилитель не используется, снижать потребляемый ток до 90 нА. В приложениях, не требующих частого включения, это дает возможность уменьшать потребляемую мощность до ультранизких значений. Например, показанная ниже схема прецизионного датчика кислорода с низкой периодичностью включения потребляет средний ток менее 200 нА.



*Микро-мощный прецизионный датчик кислорода.*

Оценочная плата DC2369A беспроводного датчика тока, в которой используются усилитель LTC2063, модуль LTP5901-IPM Smart-Mesh IP и другие микро-мощные компоненты, образует изолированную плавающую платформу измерения токов, способную многие годы проработать от маленькой батарейки.

Характеристики LTC2063 гарантируются в диапазоне рабочих температур от -40 °С до 125 °С при напряжении питания от 1.7 В до



Модуль LTP5901-IPM SmartMesh IP.

5.25 В. Цена одной микросхемы в партии из 1000 приборов начинается от \$1.50.

### Сводка основных характеристик LTC2063

- Низкий ток потребления: не более 2 мкА;
- Напряжение смещения: не более 5 мкВ;
- Дрейф напряжения смещения: не более 0.02 мкВ/°C
- Входной ток смещения:
  - типовой: 3 пА,
  - максимальный в диапазоне температур  $-40^{\circ}\text{C} \dots 85^{\circ}\text{C}$ : 30 пА,
- максимальный в диапазоне температур  $-40^{\circ}\text{C} \dots 125^{\circ}\text{C}$ : 100 пА;
- Интегрированный фильтр электромагнитных помех: подавление 114 дБ на частоте 1.8 ГГц;
- Ток в режиме останова:
  - типовой: 90 нА,
  - максимальный: 170 нА;
- Rail-to-Rail входы и выход;
- Диапазон рабочих напряжений питания: от 1.7 В до 5.25 В;
- Типовой коэффициент усиления без обратной связи: 140 дБ;
- Минимизированные потери заряда при включении оптимизированы для циклического режима работы;
- Диапазоны рабочих температур:
  - от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$ ,
  - от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $125^{\circ}\text{C}$ ;
- Корпуса: 6-выводной SC70, 5-выводной TSOT-23.

## Характеристики защиты сверхминиатюрных TVS диодов STMicroelectronics не имеют аналогов в отрасли

Выпущенные STMicroelectronics (ST) миниатюрные одиночные TVS диоды (супрессоры) типоразмера 0201 быстро ограничивают броски напряжения всего от 7 В и выдерживают пиковые импульсные токи до 7 А, обеспечивая превосходную защиту и гибкость конструирования малогабаритных интеллектуальных устройств. Эти диоды задают новый уровень параметров, доступных при таких значениях емкости и рабочего напряжения.

Industry-best clamping voltage  
ESD protection in 0201



Однонаправленные приборы ESDZL5-1F4 и двунаправленные ESDZV5-1BF4 с отпирающим напряжением 5.8 В и низким динамическим сопротивлением выпускаются в корпусах с типовыми размерами всего 0.58 мм × 0.28 мм. Равная 6 пФ емкость позволяет использовать супрессоры для поддержания целостности высокоскоростных сигналов. Устройства устойчивы к контактным электростатическим разрядам 15 кВ и 18 кВ, соответственно, превосходя требования спецификаций стандарта 61000-4-2.

Имея ток утечки менее 100 нА, новые TVS диоды компании ST способствуют увеличению времени автономной работы и идеально подходят для защиты такого оборудования, как промышленные датчики, устройства Интернета вещей, носимые приборы, включая фитнес браслеты и умные часы, а также портативные изделия, в том числе смартфоны, планшетные компьютеры, регистраторы данных и торговые терминалы.

В новых приборах воплотился опыт ST, впервые в отрасли разработавшей технологию массового производства компонентов в корпусах типоразмера 0201. Хорошо отработанный и проверенный технологический процесс гарантирует стабильность качества и бесперебойность поставок для крупномасштабных проектов.

Однонаправленные супрессоры ESDZL5-1F4 и двунаправленные ESDZV5-1BF4 выпускаются серийно. Кроме того, для апробирования новых приборов можно заказать

единичные образцы. Цены в партиях из 5000 супрессоров начинаются от \$0.014 за штуку.

### Основные технические характеристики

Корпус	ESDZL5-1F4	ESDZV5-1BF4
Минимальное отпирающее напряжение	5.8 В	5.8 В
Типовая емкость	7.5 пФ	6 пФ
Типовое напряжение пробоя	9.5 В	7 В
Напряжение контактного разряда	15 кВ	18 кВ
Типовые размеры корпуса	0.58 мм	0.28 мм
Максимальная площадь корпуса	0.18 мм <sup>2</sup>	

## Holtek анонсировала контроллер бесщеточных электродвигателей постоянного тока с новой архитектурой 1T

Стремясь расширить свое присутствие на рынке контроллеров бесщеточных электродвигателей постоянного тока, Holtek анонсировала специализированный Flash-микроконтроллер HT66FM5440 с ядром HT8, основанном на новейшей архитектуре 1T. Новое устройство полностью поддерживает как бессенсорные приложения с током прямоугольной формы, так и решения с датчиками Холла и синусоидальным током. Благодаря этим особенностям, устройство может использоваться для управления и однофазными, и трехфазными бесщеточными электродвигателями постоянного тока.



Архитектура 1T микроконтроллера HT66FM5440 гарантирует выполнение любой инструкции за один машинный такт.

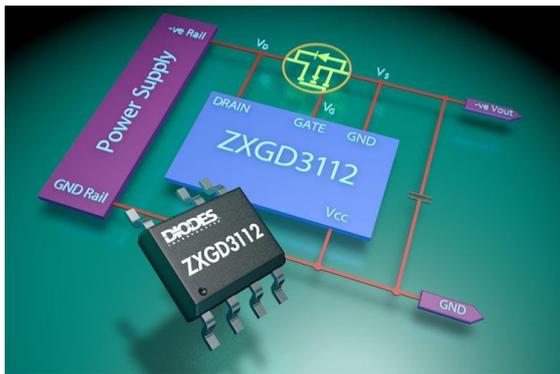
Устройство, работающее при напряжении питания 4.5...5.5 В, содержит флеш-память программ с организацией 4K × 16 и ОЗУ емкостью 384 байт. Для выполнения сложных математических операций предусмотрен аппаратный блок беззнакового умножения и деления. Кроме того, встроенные в контроллер схема управления электродвигателем, цепи защиты от токовой перегрузки, операционный усилитель и 16-разрядный таймер с функцией захвата образуют комплексный механизм защиты двигателя. Благодаря перечисленным функциям и особенностям намного упрощается решение задачи контроля тока и напряжения и обеспечения защиты. При заторможенном роторе, перегрузке по току или в случае любой иной чрезвычайной ситуации происходит выключение ШИМ и соответствующая блокировка выходных управляющих сигналов, чем гарантируются стабильность и безопасность работы драйвера двигателя.

Устройство поставляется в 28-выводном корпусе SSOP, отвечает промышленным спецификациям и отличается превосходной помехозащищенностью.

## Diodes представила самый высоковольтный в отрасли контроллер MOSFET для систем резервного питания

Расширяя возможности систем резервного электропитания для поддержки шин с напряжением до ±400 В, компания Diodes разработала контроллер MOSFET для актив-

ной силовой схемы «ИЛИ». В конструкции микросхемы ZXGD3112N7 использована технология, успешно доказавшая свою эффективность в предыдущих 40- и 200-вольтовых



устройствах. Низкое пороговое напряжение выключения позволяет MOSFET с низкими сопротивлениями каналов выполнять функции идеальных диодов, обеспечивающих высокий КПД систем питания, что хорошо подходит для телекоммуникационных систем, дата-центров и серверов, где соединение двух или более источников питания по схеме «ИЛИ» обеспечивает необходимый уровень резервирования.

Отвечая тенденции увеличения системных напряжений для более эффективного распределения энергии, ZXGD3112N7 одно-

временно способствует повышению надежности системы, поскольку совместное использование контроллеров и MOSFET с малыми сопротивлениями каналов позволяет работать при более низких температурах, чем в случае альтернативных решений с блокировочными диодами Шоттки. Кроме того, не превышающее 5 мВ пороговое напряжение выключения улучшает стабильность при легких нагрузках, а способность выключаться быстрее чем за 600 нс исключает возникновение обратных токов и предотвращает провалы напряжения на общей шине. Выходной ток 5 А обеспечивает быстрый разряд емкости затворов параллельной группы MOSFET.

При самом низком в своем классе пороге выключения и допустимом напряжении 400 В, что в четыре раза выше, чем у конкурирующих моделей, ZXGD3112N7 отличается эффективностью, надежностью и стабильностью во всем диапазоне нагрузок.

Микросхема ZXGD3112N7 выпускается в корпусе SO-7.

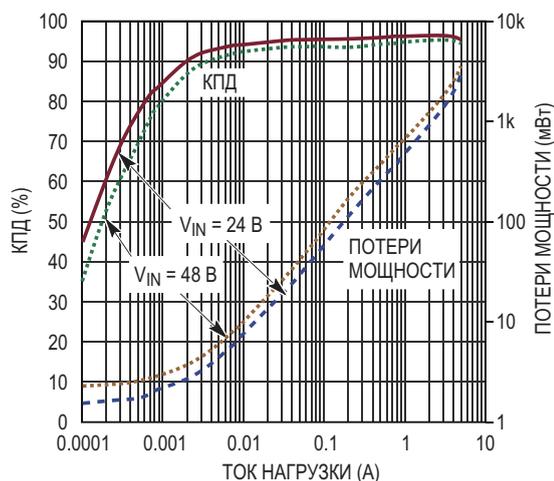
## 150-вольтый понижающий DC/DC преобразователь не требует внешних защитных устройств

Analog Devices, недавно завершившая сделку по приобретению компании Linear Technology, анонсировала начало производства контроллера высоковольтного неизолированного синхронного понижающего импульсного стабилизатора в компактном 24-выводном корпусе со встроенными драйверами всех N-канальных MOSFET силового каскада. Широкий диапазон входных напряжений микросхемы LTC7801 от 4 В до 140 В (150 В – максимально-допустимое) позволя-

ет контроллеру без внешних супрессоров выдерживать высокие напряжения источников питания и большие импульсные помехи. LTC7801 продолжает работать с коэффициентом заполнения до 100% при снижении входного напряжения до 4 В, что хорошо соответствует требованиям транспортных, промышленных, робототехнических и коммуникационных приложений.

Выходное напряжение контроллера может быть установлено в диапазоне от 0.8 В до 60 В при выходных токах до 20 А и КПД более 96%. В спящем режиме устройство продолжает стабилизировать выходное напряжение, потребляя при этом ток лишь 40 мкА, идеально отвечая требованиям, предъявляемым к постоянно включенным системам. Внутренний зарядовый насос позволяет работать в режиме 100% ШИМ или при провалах входного напряжения, что полезно при питании от разряжающихся батарей. Выходное напряжение мощных MOSFET драйверов затворов микросхемы LTC7801 с сопротивлениями каналов 1 Ом может регулироваться в





Зависимость КПД и потерь мощности от тока нагрузки.

диапазоне от 5 В до 10 В, позволяя с максимальным КПД использовать MOSFET как со стандартными, так и с логическими уровнями управления. Для ограничения роста мощности, рассеиваемой кристаллом в приложениях с высокими входными напряжениями, в LTC7801 предусмотрен вывод NDRV, управляющий затвором дополнительного внешнего N-канального MOSFET, выполняющего функцию LDO стабилизатора напряжения питания микросхемы. Кроме того, для уменьшения потерь мощности и увеличения КПД LTC7801 через вывод EXTV<sub>CC</sub> может получать питание с выхода импульсного преобразователя или от иного доступного источника.

Фиксированная частота переключения LTC7801 программируется в диапазоне 50 ... 900 кГц или задается внешним генератором от 75 кГц до 850 кГц. При легких нагрузках имеется возможность выбора между принудительным режимом непрерывной проводимости, режимом пропуска импульсов или режимом генерации пачек с низким уровнем пульсаций. Архитектура, использующая управление по току дросселя, обеспечивает простоту цепи частотной коррекции, быструю реакцию на переходные процессы и отличную стабилизацию выходного напряжения. Ток нагрузки измеряется либо по величине падения напряжения на выходном дросселе, когда требуется максимальный КПД, либо с использованием дополнительного токоизмерительного резистора. Равное всего 80 нс минимальное время включения позволяет работать с большими коэффициентами понижения на высоких частотах переключения. Прогрессирующее ограничение тока уменьшает нагрев MOSFET в условиях перегрузки.

В перечень других особенностей контроллера входят встроенный бутстрепный диод, выходной сигнал «Питание в норме», блокировка при перенапряжении по входу с регулируемым порогом и мягкий старт.

LTC7801 выпускаются в корпусах QFN-24 размером 4 мм × 5 мм и TSSOP-24 со сниженными тепловыми сопротивлениями. Доступны две версии приборов: для расширенного и промышленного диапазонов температур перехода от -40 до 125 °С и высокотемпературная автомобильная для диапазона от -40 °С до 150 °С. В партиях из 1000 штук цена одного контроллера составляет \$4.20.

### Сводка основных характеристик LTC7801

- Широкий диапазон входных напряжений: от 4 В до 140 В (абсолютный максимум – 150 В);
- Широкий диапазон выходных напряжений: от 0.8 В до 60 В;
- Выходной ток до 20 А;
- Синхронное выпрямление, обеспечивающее КПД до 96%;
- Низкий ток покоя: 40 мкА;
- Возможность работы с коэффициентом заполнения импульсов ШИМ до 100%;
- Настраиваемое от 5 В до 10 В выходное напряжение драйверов затворов позволяет использовать MOSFET как со стандартными, так и с логическими уровнями управления;
- Два метода измерения тока: по падению напряжения на сопротивлении дросселя или на внешнем токоизмерительном резисторе R<sub>SENSE</sub>;
- Равное 80 нс минимальное время включения позволяет работать с большими коэффициентами понижения;
- Выбор при легкой нагрузке между принудительным режимом непрерывной проводимости, режимом пропуска импульсов и пульсирующим режимом;
- Выбираемая пользователем фиксированная рабочая частота от 50 кГц до 900 кГц;
- Синхронизируемая ФАПЧ рабочая частота от 75 кГц до 850 кГц;
- Режим управления по току дросселя, обеспечивающий высокую скорость отклика на переходные процессы и простоту частотной коррекции;
- Выходной сигнал «Питание в норме»;
- Настраиваемый порог блокировки при входном перенапряжении.

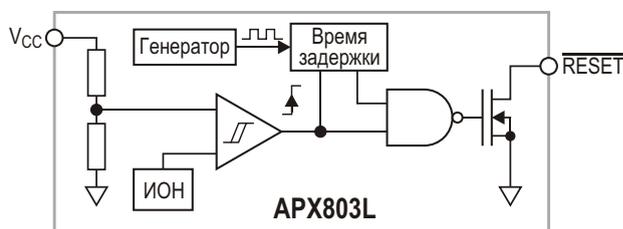
## Микро мощные детекторы напряжения Diodes контролируют источники питания компьютерных и цифровых систем

Компания Diodes представила микро мощный детектор напряжения APX803L, предназначенный для схем супервизоров микро процессоров и микроконтроллеров. Микросхема точно контролирует уровни напряжений и вырабатывает сигнал сброса, если напряжение шины питания падает ниже определенного порога. Эта функция востребована многими системами, такими как компьютеры, компьютерная периферия и портативные устройства с батарейным питанием. Низкий ток потребления делает APX803L также очень привлекательным прибором для использования в бытовой электронике, работающей в дежурном режиме, такой, например, как телевизоры.



Пороговые напряжения детекторов, максимальные отклонения которых не превыша-

ют  $\pm 1.5\%$ , можно выбирать любыми из диапазона от 1.2 В до 5.0 В с шагом 0.1 В. Микросхемы потребляют всего 1 мкА и не требуют внешних компонентов. Если контролируемое напряжение на шине питания  $V_{CC}$  падает ниже выбранного уровня порога, APX803L через 20 мкс вырабатывает сигнал сброса, который удерживается до тех пор, пока напряжение на шине питания не вернется к уровню, превышающему порог. Потребителю доступны варианты устройств с задержкой восстановления 0 мс, 55 мс, 220 мс или 450 мс. Выход сброса имеет активный низкий уровень и открытый сток.



Блок-схема детектора напряжения APX803L.

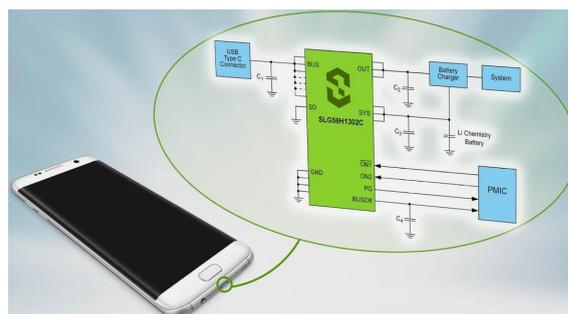
APX803L выпускаются в 3-выводных корпусах SOT23, SOT323 и SC59, а также в 5-выводном корпусе SOT25, и могут использоваться как в оригинальных конструкциях, так и для прямой замены приборов других производителей.

## Silego начала производство делителей мощности, устойчивых к броскам напряжения до 130 В

Объединив на одном кристалле два высококачественных MOSFET с низкими сопротивлениями каналов и быстродействующие цепи защиты от перенапряжений, Silego создала передовое решение, пригодное для использования в приложениях USB Type C

Silego Technology сообщила о начале производства микросхемы SLG59H1302C — очень надежного делителя мощности с одним входом и двумя выходами, предназначенного для смартфонов среднего и верхнего уровня и планшетных ПК.

Любая интегральная схема, предназначенная для использования в бытовой электронике и устанавливаемая вблизи внешнего разъема, должна быть устойчивой к броскам





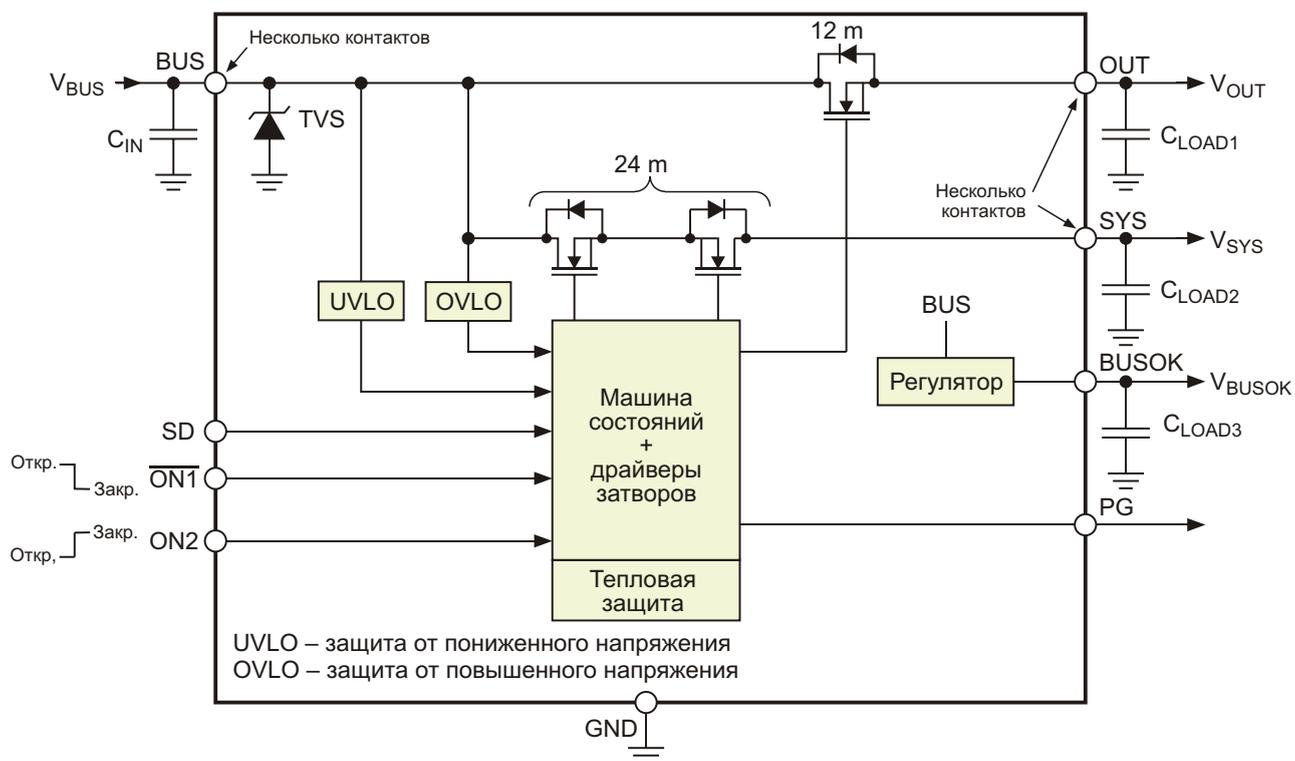
напряжения и перегрузкам, вызванным неправильным использованием сетевых адаптеров. Защита от повышенных напряжений на системном уровне стала стандартным требованием для таких приложений. SLG59H1302C выдерживает броски напряжения до 130 В, что на 30% больше, чем у конкурентов, а по равному 20 нс времени реакции на перенапряжение превосходит аналогичные решения, как минимум, в семь раз. Хотя микросхема предназначена для использования с сетевыми адаптерами, имеющими выходные напряжения 5 В, 9 В или 12 В, она не будет повреждена даже при ошибочном подключении 20-вольтового адаптера.

Используя оригинальную технологию изготовления MOSFET, инженеры Silego смогли разместить два высококачественных N-канальных транзистора в компактном корпусе WLCSP площадью 5 мм<sup>2</sup>, не превышающем размеров конкурирующих продуктов.

При этом у SLG59H1302C сопротивление  $V_{BUS} \rightarrow V_{OUT}$  на 47%, а  $V_{BUS} \rightarrow V_{SYS}$  – на 31% меньше, чем у существующих приборов. Благодаря столь высоким характеристикам MOSFET, SLG59H1302C работает при очень низких температурных градиентах, позволяя увеличить плотность компоновки элементов и упростить отвод тепла.

## Ключевые характеристики SLG59H1302C

- Постоянная работа при напряжении  $V_{BUS}$  до 28 В;
- Внутренний ограничитель, устойчивый к броскам напряжения до 130 В;
- Широкий диапазон входных напряжений: от 2.7 В до 13.2 В;
- Высококачественные интегрированные сильноточные N-канальные MOSFET с низкими значениями сопротивлений и токов утечки:
  - $V_{BUS} \rightarrow V_{OUT}$ : 12 мОм,
  - $V_{BUS} \rightarrow V_{SYS}$ : 24 мОм, встречно включенные транзисторы;
- Максимальный продолжительный пропускательный ток:
  - $V_{BUS} \rightarrow V_{OUT}$ : 6 А,
  - $V_{BUS} \rightarrow V_{SYS}$ : 6 А;



Блок-схема SLG59H1302C.

- Интегрированная быстродействующая защита от повышенного напряжения:
  - $V_{BUS} \rightarrow V_{OUT}$ : 14.1 В,
  - $V_{BUS} \rightarrow V_{SYS}$ : 5.25 В;
- Интегрированная защита от пониженного входного напряжения;
- Защитное отключение при перегреве;
- Интегрированный постоянно включенный стабилизатор для питания внешних схем;

- Независимое управление отключением;
- Двухтактный цифровой выход «Питание в норме»;
- Диапазон рабочих температур от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Некоторые области применения SLG59H1302C

- Смартфоны среднего и высшего классов;
- Планшетные компьютеры.

## Microchip выпускает первые в отрасли высокотемпературные приемопередатчики CAN FD и CAN PN

*Семейство ATA65XX поддерживает новые стандарты CAN FD и CAN PN и способно работать в условиях высоких температур, характерных для систем автоэлектроники*

Microchip Technology сообщила о доступности первого в отрасли семейства приемопередатчиков интерфейса CAN, включающего ряд приборов, отвечающих требованиям Уровня 0 ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ...  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) стандарта AECQ100. Семейство ATA65XX добавило к портфелю приборов интерфейса CAN компании Microchip шесть новых устройств.



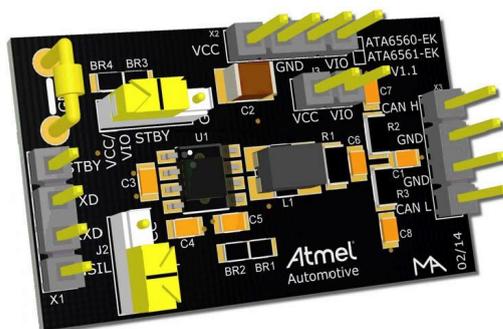
Новое семейство поддерживает недавно принятый протокол CAN FD (Flexible Data-rate – гибкое управление скоростью обмена) с быстродействием до 5 Мбит/с и новый стандарт CAN PN (Partial Networking – частичные сети), ориентированный на увеличение энергоэффективности транспортных средств. Соответственно, все устройства полностью отвечают требованиям стандартов ISO 118980-2/5/6, 11898-2:2016 и SAE J2962-2. Микросхемы ATA6562, ATA6563, ATA6564, ATA6565 и ATA6566 образуют первое в отрасли семейство приемопередатчиков CAN/CAN FD, рассчитанных на работу при температуре окружающей среды от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Приборы семейства содержат все необходимые атрибуты CAN PN, включая оконный сторожевой таймер. Все приборы одобрены основными автопроизводителями для использования без внешних синфазных дросселей, которые требуются большинству приемопередатчиков CAN.

Все микросхемы семейства могут активироваться по сигналу на шине CAN, поддерживая двухэтапную схему побуждения согласно версии стандарта ISO11898-2:2016. В двигателях современных транспортных средств имеется более 70 электронных блоков управления с интерфейсом CAN. Эта функция позволяет исключить нежелательные процедуры пробуждения, позволяя существенно сократить потребление энергии и снизить уровень электромагнитных излучений.

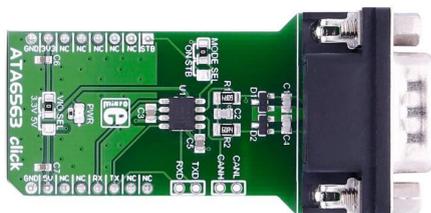
### Поддержка разработки

Семейство ATA65XX поддерживается отладочными наборами ATA656X-EK и ATAV6570A, а также платой ATA6563 «click»



Оценочная плата ATA6560-EK, ATA6561-EK.

board», выпускаемой компанией Mikro-Elektronika. Все перечисленные средства уже доступны для приобретения.



ATA6563 «click board».

## Цены и доступность

Новое семейство приборов выпускается в корпусах SO 8/14 и DFN8/14 со смачиваемыми торцами контактов, удобными для автоматизированного оптического контроля качества пайки.

В настоящее время потребителям доступны следующие приборы семейства ATA65XX:

- ATA6562/63/64/66 в корпусах SO8 или DFN8 со смачиваемыми торцами выводов, цены которых начинаются от \$0.33 за штуку при размере партии 10,000 устройств.
- ATA6565 в корпусе DFN14 со смачиваемыми торцами выводов. Цена одного прибора в партиях из 10,000 устройств начинается от \$0.65.
- ATA6570 в корпусе SO14, предлагаемые по цене от \$0.49 за штуку в партиях из 10,000 микросхем.

Дополнительную информацию можно получить в торговых представительствах Microchip, в офисах продаж или на сайте компании. Для приобретения перечисленных микросхем можно воспользоваться онлайн-магазином microchipDIRECT, или же обратиться к авторизованным дистрибьюторам Microchip.

## Melexis анонсировала новый шлюз шины LIN

Melexis анонсировала выпуск нового шлюза LIN-LIN, преодолевающего ограничение в 16 устройств, установленное для стандартной шины. Каждая микросхема MLX81120 подключается как ведомое устройство к главной шине LIN и управляется непосредственно блоком контроля кузовных электронных систем (BCM). Новое устройство позволяет подключать к отдельной шине LIN до 16 подчиненных RGB модулей, чтобы таким образом обслуживать до 196 светодиодных устройств, соединенных шиной LIN с единственным BCM.

Полнофункциональный шлюз LIN-LIN второго поколения основан на популярном RISC процессоре приложений MLX16. 16-разрядный микроконтроллер содержит 32 КБ флеш-памяти (с контролем ошибок), 16 КБ ПЗУ, 2 КБ ОЗУ и 380 байт EEPROM (с контролем ошибок). При поставке микросхем в ПЗУ записываются драйвер LIN, начальный загрузчик, библиотека математических функций и алгоритм смешивания цветов для цветовой модели RGB.

Протокольный контроллер подчиненного LIN устройства работает на скоростях до 19.2 кБод и отвечает требованиям стандартов

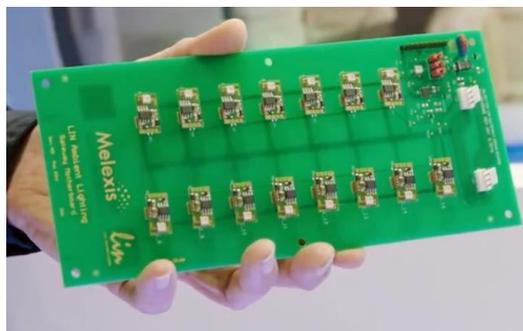


LIN 2.x и SAE J2602. Этот блок автономно обрабатывает кадры, гарантируя, что прерывания основного приложения будут происходить очень редко. Кроме того, в MLX81120 включены приемопередатчики ведущего и ведомого LIN устройств, каждый из которых также совместим со стандартами LIN 2.x и SAE J2602. Второй приемопередатчик ведущего устройства позволяет распределять архитектуру окружающего освещения автомобиля, что дает возможность легко расширять и/или изменять функции управления световыми приборами для различных моделей или для различных вариантов комплектации, не внося изменений в сложные блоки контроля.

Расширенные возможности ввода/вывода поддерживаются четырьмя высоковольтными линиями обмена, выходами 16-битных ШИМ, входами прерываний и 10-битным АЦП с интегрированным предрываемым драйвером. Встроенный в MLX81120 высокоэффективный стабилизатор напряжения в спящем режиме потребляет всего 20 мкА. В микросхему интегрированы также цепи температурной компенсации параметров светодиодов, включая токи утечки, монитор батареи и датчик температуры.

Гибкая и конфигурируемая микросхема MLX81120, настраивается в соответствии с запросами потребителя путем программирования флеш-памяти, в конфигурации LIN RGB нуждается всего в трех внешних компонентах, экономя площадь печатной платы и снижая стоимость решения.

Рассчитанная на работу в автомобильном диапазоне температур от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  микросхема MLX81120 выпускается в 12-выводном корпусе DFN размером  $4 \times 4$  мм. Потребителям доступны единичные образцы микросхем, демонстрационные платы и инструментальное ПО.

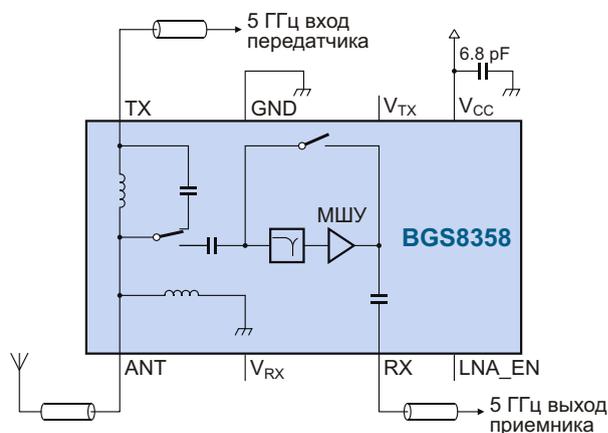


## С новыми МШУ компании NXP интеллектуальные соединения станут быстрее и надежнее

*В беспроводных локальных сетях комбинация усилителя с радиочастотным переключателем обеспечивает высокое качество сигналов пользователям телефонов, планшетов и небольших устройств Интернета вещей*

NXP Semiconductors сообщила о выпуске новых маломощных усилителей (МШУ) с интегрированными ключами, предназначенных для оборудования беспроводных локальных сетей. Приборы позволяют повысить скорость и надежность интеллектуальных соединений смартфонов, планшетов, носимых гаджетов и миниатюрных устройств Интернета вещей. Предназначенное для беспроводных сетей семейство МШУ с интегрированными ключами улучшает качество сигналов, обеспечивая сочетание высоких технических характеристик с низким током потребления и позволяя повысить надежность соединений в беспроводных локальных сетях.

«Количество транзакций, порождаемых мобильными устройствами в интеллектуальном оборудовании и устройствах Интернета вещей сейчас больше, чем когда-либо прежде, что увеличивает потребность в более мощных и эффективных технических средствах беспроводных сетей, – сказал Крис Келли (Chris Kelly), старший директор по маркетингу компании NXP. – NXP продолжает внедрять инновационные решения на рынке



Типовая схема включения.

мобильных устройств, и наше новое семейство усилителей будет привлекательной альтернативой для разработчиков беспроводных локальных сетей, позволив им предложить современным потребителям мобильные устройства с более совершенными характеристиками».

Новые МШУ с интегрированными ключами поддерживают стандарты повышенной пропускной способности, включая новейший стандарт 802.11ac 1 Гбит/с. В производственном процессе используется SiGe технология NXP QUBiC восьмого поколения. В приборах

нового семейства сочетаются лучшие в своем классе значения коэффициент шума, линейности и КПД, а технология SiGe обеспечивает низкие вносимые потери, стабильность и надежность КМОП ключей.

## Доступность

Семейство новых МШУ, в которое входят приборы BGS8324, BGS8358, BGS8424 и BGS8458, доступно в составе типовых проектов, предлагаемых ведущими поставщиками беспроводных мобильных систем на кристалле (СнК).

## XMOS анонсирует выпуск речевого процессора XVF3000 и наборы разработчика VocalFusion Speaker для захвата голоса из удаленных источников звука

*Устройства XVF3000 и наборы разработчика предназначены для активируемых голосом приложений*

Компания XMOS объявила о запуске в серийное производство семейства процессоров обработки речевых сигналов, имеющих лучшие в своем классе характеристики захвата голоса при использовании массива МЭМС микрофонов. Приборы семейства XVF3000, поддерживающие лучшее в отрасли запатентованное решение голосового управления TrulyHandsfree, обеспечивают самый гибкий и малозатратный постоянно активный голосовой интерфейс.



Кроме того, XMOS сообщила о доступности набора разработчика VocalFusion Speaker (ХК VF3100 C43), содержащего плату процессора XVF3000 и массив из четырех расположенных по кругу микрофонов. Набор позволяет быстро начать разработку приложений захвата голоса из удаленных источников звука.



В устройствах XVF3000 реализованы усовершенствованные алгоритмы обработки звука, использующие сигналы с четырех микрофонов для отслеживания положения говорящего при его перемещении, а также высокоэффективная полнодуплексная система подавления акустического эхо.



*Оценочный набор VocalFusion Speaker с круговым массивом микрофонов.*

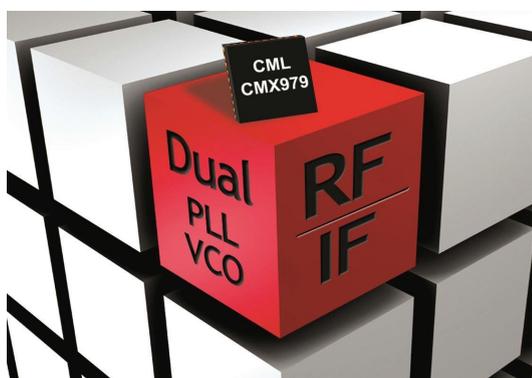
XVF3000 могут быть легко интегрированы с процессором приложений или управляющим компьютером, либо с помощью интерфейса USB для обмена данными и сигналами управления, либо с помощью комбинации интерфейсов I<sup>2</sup>S и I<sup>2</sup>C. Используя предоставляемые XMOS бесплатные инструмен-

ты разработки, конструкторы могут быстро добавить в свои устройства функции обработки голоса и звука.

Устройства XVF3000 готовы к немедленной отгрузке со склада XMOS. Доступны также оценочные наборы VocalFusion Speaker.

## CML Microcircuits анонсировала выпуск сдвоенного синтезатора частот с интегрированным ГУН

CML Microcircuits анонсировала выпуск микросхемы CMX979, содержащей два синтезатора частот со схемами фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и генератор, управляемый напряжением (ГУН).

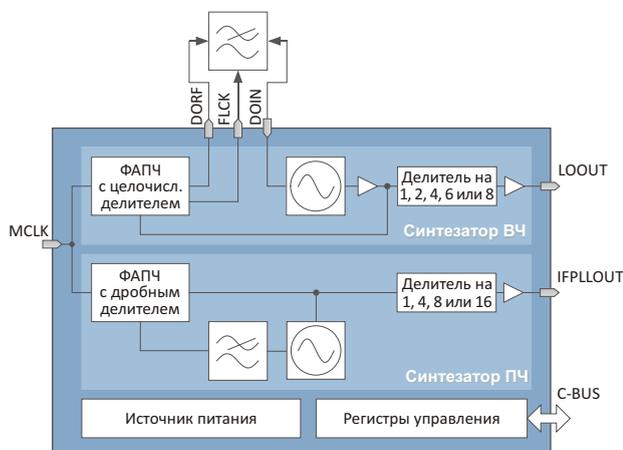


Микросхема CMX979 малопотребляющего ВЧ/ПЧ синтезатора с ГУН обеспечивает генерацию сигналов в широком диапазоне частот. Устройство напрямую поддерживает как архитектуру с однократным преобразованием, так и супергетеродинную архитектуру, минимизируя количество необходимых внешних компонентов.

Благодаря высокой степени интеграции, CMX979 предоставляет разработчикам решение для создания более дешевых, компактных и малопотребляющих продуктов. Несмотря на то, что на рынке существует множество приборов, объединяющих ФАПЧ и ГУН, микросхема CMX979 уникальна сочетанием широкого частотного диапазона, уровня интеграции и низкой мощности потребления. В большинстве случаев другие интегральные решения представляют собой лишь одиночные синтезаторы, и для создания законченного устройства требуют еще одного корпуса синтезатора и дополнительной площади печатной платы.

Синтезатор ВЧ работает в диапазоне частот 2.7...3.6 ГГц, поддерживаемый полностью интегрированными цепями ГУН и ФАПЧ. Конфигурируемый делитель позволяет синтезировать выходные частоты от 338 МГц до 3.6 ГГц.

Целочисленный синтезатор ПЧ работает в диапазоне частот 500...1000 МГц. Он содержит полностью интегрированный фильтр цепи обратной связи и ГУН, для которого требуется только внешняя катушка индуктивности. Кон-



Блок-схема EV9790.



Оценочный набор EV9790.

фигурируемый выходной делитель поддерживает широкий диапазон синтезированных промежуточных частот от 31 МГц до 1 ГГц.

При разработке CMX979 делался акцент на снижение потребляемой мощности за счет некоторого ухудшения характеристик фазовых шумов, поэтому прибор ориентирован, прежде всего, на малопотребляющие и дешевые радиочастотные решения. На кристалле

микросхемы имеются также цепи калибровки ГУН для обоих синтезаторов, гарантирующие постоянство характеристик при изменениях температуры и напряжения питания, и совместно со схемами мониторинга дающие пользователю весь необходимый контроль над устройством.

CMX979 выпускается в небольшом 40-выводном корпусе VQFN с размерами 6 × 6 мм.

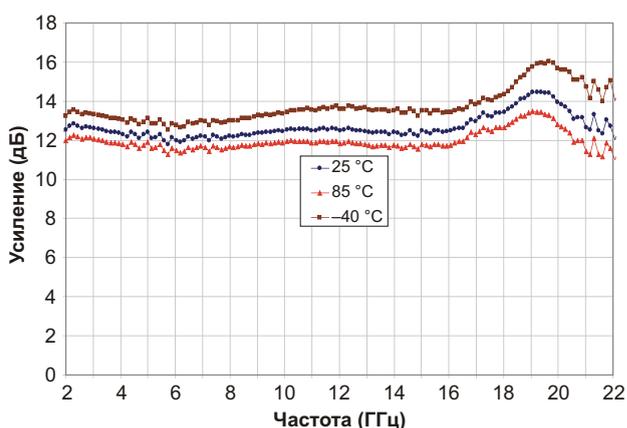
## Custom MMIC выпустила корпусированную версию усилителя с полосой пропускания от 2 ГГц до 22 ГГц

Custom MMIC сообщила о выпуске микросхемы CMD241P4 – корпусированной версии популярного ультраширокополосного маломощного GaAs усилителя с распределенными параметрами CMD241. Низкие шумы, низкий ток потребления, отличные возвратные потери и компактные размеры этого прибора идеально подходят для его использования в широкополосных радарх L-, S-, C-, X-, Ku- и K-диапазонов, широкополосных коммуникационных устройствах, оборудовании спутниковой связи и контрольно-измерительных приложениях.



Коэффициент усиления CMD241P4 превышает 13 дБ при коэффициенте шума 2.3 дБ. Как коэффициент усиления, так и коэффициент шума усилителя исключительно стабильны во всем диапазоне рабочих температур от -55 °С до +85 °С. Точка децибелной компрессии CMD241P4 на частоте 11 ГГц расположена выше +21 дБм, а выход-

ная точка пересечения интермодуляции третьего порядка находится на уровне +28 дБм. Микросхема работает от источника положительного напряжения 3 В ... 8 В, потребляя при этом всего 74 мА. Типовые



Зависимость коэффициента усиления от частоты при напряжении питания 5.0 В.

значения возвратных потерь на входе и выходе равны 13 дБ и 15 дБ, соответственно.

Усилитель поставляется в пластиковом бессвинцовом корпусе QFN размером 4 × 4 мм, отвечающем требованиям директивы RoHS. Входы и выходы устройства содержат 50-омные цепи согласования, позволяющие исключить внешние элементы блокировки постоянной составляющей и высокочастотного согласования портов.

## 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>

# Импульсное преобразование переменного тока



*Александр Русу, Одесса, Украина*

**В** представлении большинства людей, занимающихся радиоэлектроникой, два словосочетания «импульсный преобразователь» и «постоянного тока» обычно тесно связаны между собой. Действительно, дешевые, малогабаритные, высокоэффективные импульсные DC/DC конвертеры очень популярны в технике, хотя импульсный способ преобразования электрической энергии также активно применяется и в других устройствах: инверторах, выпрямителях, драйверах двигателей и светодиодов, и даже в аудио-усилителях. Но когда необходимо преобразование переменного напряжения промышленной частоты 50 Гц, то из доступных решений вспоминаются или громоздкие низкочастотные трансформаторы, или сложные и малоэффективные устройства с промежуточным звеном постоянного тока.

Конечно, сфера применения AC/AC конвертеров пока не так широка, как преобразователей постоянного тока – обычно это регуляторы мощности и стабилизаторы напряжения промышленной сети. Но сейчас бурно развивается альтернативная энергетика, для которой необходимы преобразователи, способные взаимодействовать с единой государственной энергосистемой в сложных и постоянно меняющихся режимах. Поэтому перед разработчиками силовой электроники постепенно встают задачи, требующие глубокого понимания процесса импульсного преобразования электрической энергии, на которые при создании DC/DC конвертеров за ненадобностью не обращали внимания.

Основные принципы преобразования переменного тока были описаны еще в 1986 году [1]. Однако в то время элементная база не позволяла собрать преобразователи даже с удовлетворительными характеристиками. AC/AC конвертеры того времени могли использоваться либо для лабораторных экспериментов, либо в случаях, когда цена, габариты и потери не имели значения. Сегодня производители электронных компонентов предоставляют широкий выбор MOSFET, IGBT, трансформаторов, дросселей, драйверов, контроллеров и других приборов, с помощью которых можно создать малогабаритный AC/AC конвертер с КПД не хуже 90%.

Первые эксперименты с преобразователями переменного тока показали, что основной проблемой является отсутствие четкого понимания принципов их работы. Известных знаний из области проектирования DC/DC конвертеров оказалось недостаточно, поэтому началась работа над созданием обобщенной теории импульсного преобразования электрической энергии, некоторые моменты которой изложены в [2 – 4]. Сегодня уже очевидно, что импульсный способ преобразования еще не раскрыл весь свой потенциал и требует более глубокого изучения.

В этой статье рассмотрены основные особенности разработки импульсных AC/AC конвертеров. Изучение этого материала позволит глубже понять сам механизм импульсного преобразования, поскольку он является общим для конвертеров всех типов: DC/DC, AC/DC, DC/AC, AC/AC.

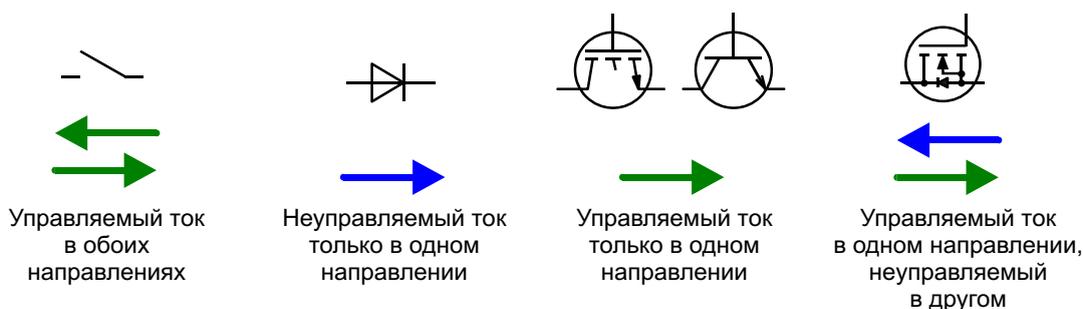


Рисунок 1. Протекание тока в силовых элементах.

## Как сделать AC/AC конвертор

AC/AC и DC/DC конверторы, имеют идентичные схемы. Только в AC/AC конверторах необходимо исключить полярные элементы и использовать силовые ключи, которые «...способны находиться или в замкнутом (проводящем), или в разомкнутом (непроводящем) состоянии и обеспечивать протекание или блокировку протекания тока в любом направлении» [4]. Если первое условие интуитивно понятно – нельзя использовать полярные элементы на переменном токе, то второе условие необходимо объяснить более подробно.

Сегодня в качестве силовых ключей из доступной элементной базы можно использовать механические контакты (например, контакты реле), полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, MOSFET и IGBT (Рисунок 1).

Диоды, биполярные транзисторы и IGBT пропускают ток только в одном направлении, причем диод – это неуправляемый элемент. Поэтому в качестве самостоятельных ключей AC/AC конверторов эти приборы использовать нельзя. Проводящий канал MOSFET пропускает ток в обоих направлениях, а его

сопротивление определяется напряжением между затвором и истоком. Теоретически, MOSFET вполне подходит для преобразования переменного тока. Однако наличие в этих приборах паразитного диода приводит к тому, что для одного из направлений ток невозможно заблокировать. Таким образом, единственными элементами, которые можно использовать для ключей AC/AC конвертора, остаются механические контакты. Они могут, как пропускать ток, так и блокировать его протекание в любом направлении. Но механические контакты физически не могут переключаться с высокой частотой, имеют низкую надежность, высокий уровень шума и много других недостатков, из-за которых в современных преобразователях они не применяются.

В результате, ни один из приборов, показанных на Рисунке 1, в качестве полноценного самостоятельного силового ключа AC/AC конвертора использовать нельзя, поэтому в преобразователях переменного напряжения силовые ключи представляет собой комбинацию из нескольких полупроводниковых приборов (Рисунок 2). Аналогичные схемы используются в матричных преобразователях и подробно описаны в [5].

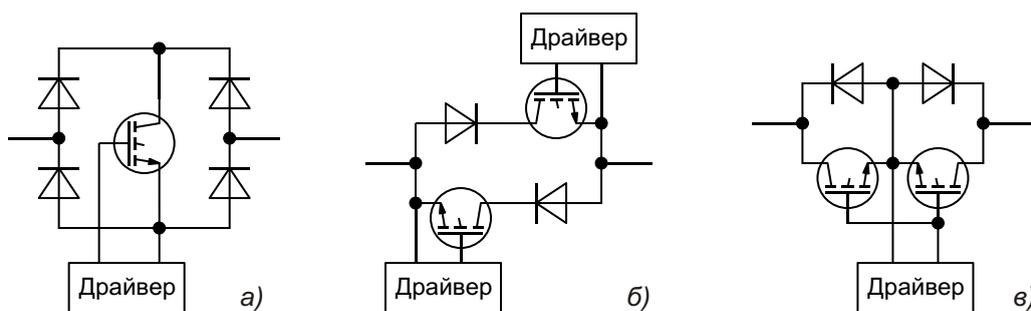


Рисунок 2. Силовые ключи AC/AC конверторов.

Сразу видно, что эти схемы имеют серьезный недостаток – ток протекает минимум через два силовых элемента: диод и транзистор, что негативно сказывается на КПД и стоимости преобразователя. Но, возможно, в будущем появятся более эффективные решения. Например, в [5] упомянуты RB-IGBT и BD-IGBT, но эти приборы по своим характеристикам, доступности и стоимости пока не достигли уровня, достаточного для широкого применения.

Из приведенных решений наибольший интерес представляет схема Рисунка 2в, поскольку в ней один драйвер может управлять двумя транзисторами, в качестве которых из-за меньших потерь на управление лучше использовать MOSFET или IGBT. При использовании MOSFET, если падение напряжения на открытом канале меньше прямого напряжения на диоде, ток будет проходить только через каналы транзисторов, а диод в процессе преобразования принимать участия не будет. Для ключей на основе IGBT можно использовать приборы со встроенным

антипараллельным диодом. Это позволяет уменьшить количество корпусов и упростить разводку платы, хотя при этом ухудшается охлаждение кристаллов. При выборе IGBT со встроенным диодом необходимо обращать внимание также на тепловое сопротивление переход-корпус диода – оно должно быть соизмеримо с аналогичным сопротивлением транзистора, потому что в некоторых приборах диод может иметь в несколько раз большее тепловое сопротивление, чем транзистор.

Для построения AC/AC конвертора можно взять любую схему DC/DC преобразователя, исключить полярные элементы, а в качестве традиционных транзисторов и диодов использовать управляемые двунаправленные силовые ключи, показанные на Рисунке 2. В качестве примера на Рисунке 3 приведены схемы классических (базовых) AC/AC конверторов понижающего, повышающего и инвертирующего типов. При преобразовании переменного тока они будут выполнять те же функции: понижать, повышать и инвертировать величину входного напряжения.

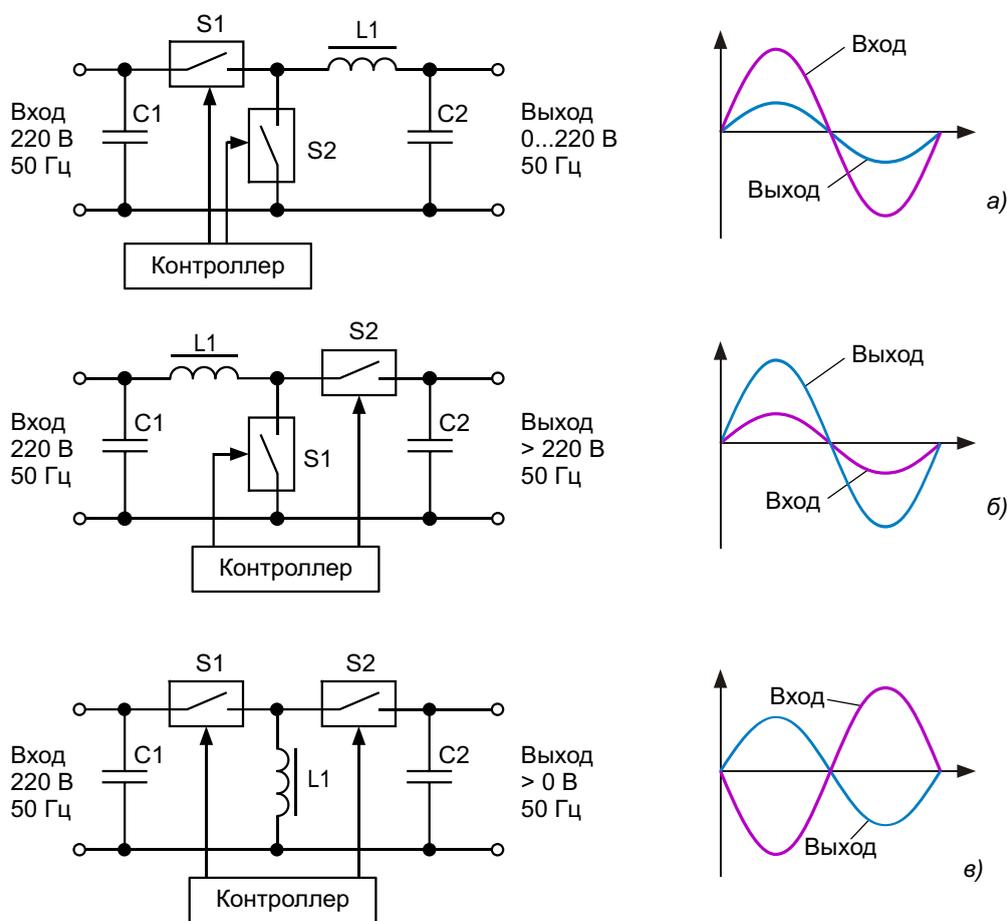


Рисунок 3. Понижающий (а), повышающий (б) и инвертирующий (в) AC/AC конверторы.

## Управление силовыми транзисторами

Для управления MOSFET или IGBT лучше всего использовать готовые драйверы. Сегодня производители предлагают широкий выбор специализированных микросхем для DC/DC конверторов, которые можно с успехом применить и для преобразования переменного тока. При выборе драйвера, необходимо помнить, что он должен управлять как минимум двумя транзисторами и поэтому иметь необходимую мощность. Но более серьезной проблемой является организация питания драйверов.

При построении преобразователей по схемам Рисунка 3 потенциалы эмиттеров/истоков транзисторов каждого силового ключа постоянно изменяются, достигая величин нескольких сотен вольт как относительно общего провода, так и друг относительно друга. Поскольку драйвер напрямую подключен к затворам транзисторов, то его цепи управления и питания должны быть гальванически развязаны от других цепей.

В качестве драйверов для ключей AC/AC конверторов удобнее всего использовать специализированные оптодрайверы, например, HCPL-3120 компании Agilent с выходным током 2.5 А (Рисунок 4). Это решение требует меньшего количества элементов по

сравнению с использованием стандартных драйверов нижнего плеча и высокоскоростных оптопар. Питание HCPL-3120 осуществляется напряжением от 15 В до 18 В, средняя потребляемая мощность одной микросхемы не превышает 0.3 Вт. Питая драйвер напряжением меньше 15 В не рекомендуется, поскольку встроенный монитор питания может блокировать работу прибора.

Таким образом, для питания каждого драйвера необходим отдельный изолированный источник. При построении преобразователей, работающих от промышленной сети, питание всего устройства вместе со схемой управления можно обеспечить с помощью многоканального выпрямителя, который обычно строится по схеме Fly-buck. Однако анализ номенклатуры дросселей для подобных источников, например, компании Premier Magnetics, показывает, что количество приборов с числом вторичных обмоток больше двух у них ограничено. К тому же, качество изоляции гарантируется только между первичной и любой вторичной обмоткой, а данные об электрической прочности изоляции между вторичными обмотками, как правило, отсутствуют.

Дополнительным недостатком многоканального источника питания является необходимость обеспечения высокой электрической прочности изоляции на всем пути от

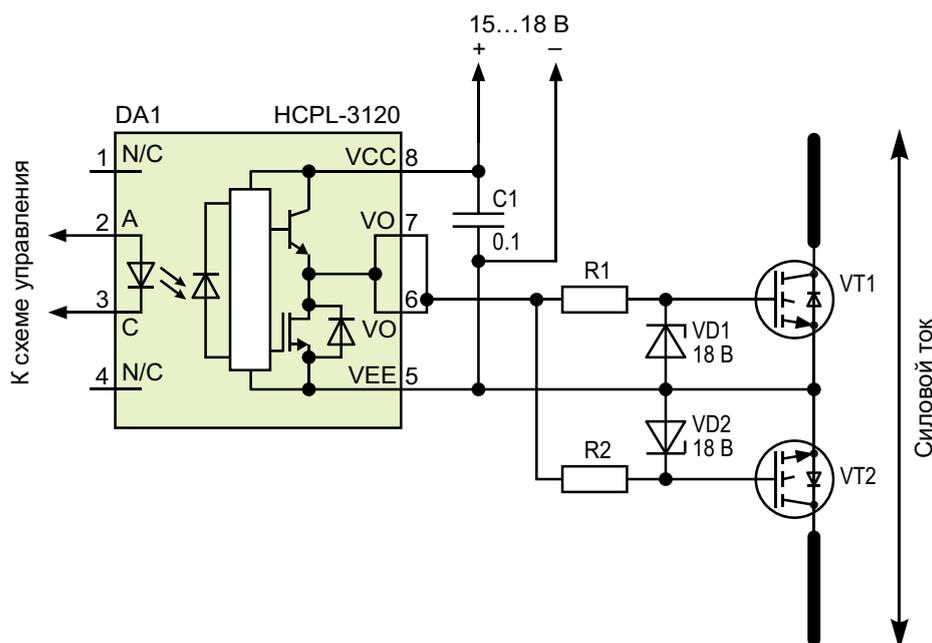


Рисунок 4. Схема силового ключа на основе оптодрайвера HCPL-3120.

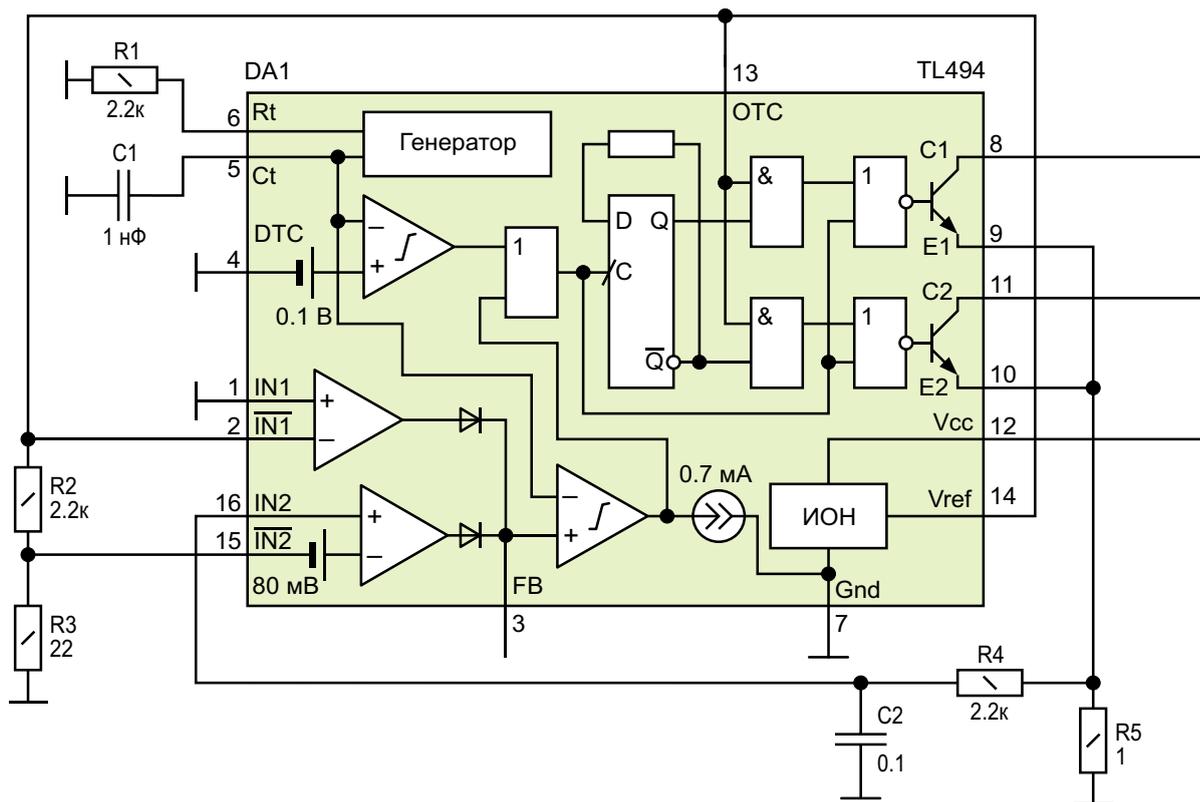


Рисунок 5. Схема модуля

блока питания до драйвера. С увеличением числа силовых ключей это негативно сказывается как на сложности устройства, так и на уровне электромагнитных помех.

Наилучшим решением в этом случае является распределенное питание драйверов. При таком подходе схема управления питается от одного источника напряжением от 5 В до 12 В, в качестве которого можно использовать аккумулятор, а непосредственно возле драйвера устанавливается DC/DC конвертер, обеспечивающий каждый драйвер изолированным питанием необходимого напряжения.

Для распределенного питания драйверов можно использовать промышленные изолированные DC/DC конвертеры или изготавливать подобный узел самостоятельно. Один из вариантов DC/DC конвертера с использованием доступных компонентов показан на Рисунках 5 и 6. Такой преобразователь вполне может обеспечить питанием два драйвера, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

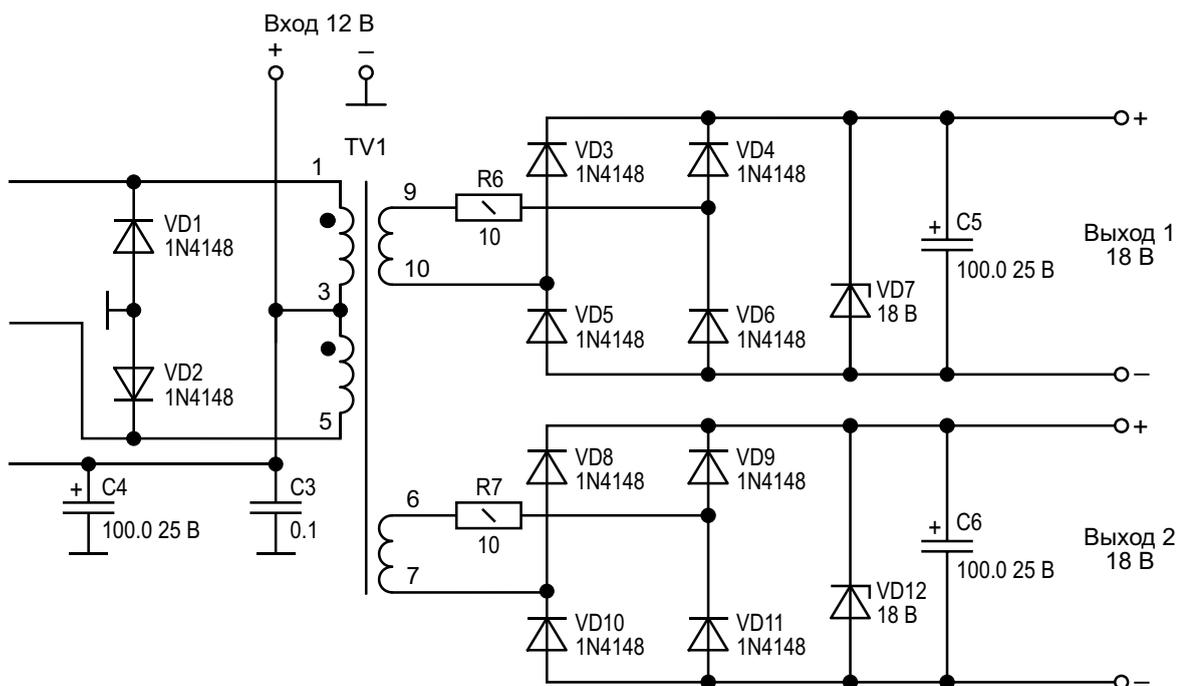
Трансформатор TV1 намотан на сердечнике P4-EF12.6 с каркасом ВН-EF12.6-1-10Q

(PHL). Полуобмотки 1–3, 3–5 мотаются одновременно, каждая секция содержит 24 витка провода ПЭТ-155 диаметром 0.1 мм. Обмотки 6–7 и 9–10 содержат по 40 витков того же провода. При изготовлении трансформатора особое внимание необходимо уделить изоляции между обмотками 1–5, 6–7, 9–10, которую можно выполнить с помощью ленты ТЕА-5К5 шириной 7 мм.

Данный преобразователь не критичен к элементной базе, не требует наладки и адаптации устойчив к аварийным режимам работы, например, к короткому замыканию во вторичных цепях. При необходимости, трансформатор TV1 можно изготовить на основе сердечников от трансформаторов, старых компьютерных блоков питания АТХ. Поскольку площадь сечения этих трансформаторов больше, количество витков можно оставить таким же или пересчитать по методикам расчета трансформатора для преобразователей с выводом средней точки трансформатора.

## Контроллер

Спецификой AC/AC конвертеров является функционирование с постоянно изменяющи-



питания для двух драйверов.

мися уровнями входного и выходного напряжения. Для преобразователей промышленной сети условия работы дополнительно усложняются всеми возможными формами помех и нестабильности входного напряжения. Поэтому использование классического метода формирования ШИМ на основе сигнала отрицательной обратной связи постоянно-

го напряжения приведет к тому, что точность и стабильность выходного напряжения будут невелики.

Если высокая точность стабилизации не требуется, например, при создании импульсного ЛАТРа, то схемы управления преобразователями переменного напряжения можно построить на основе ШИМ-контрол-

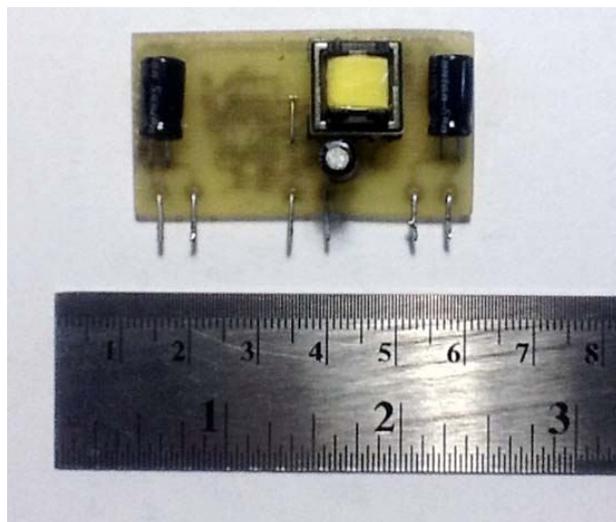
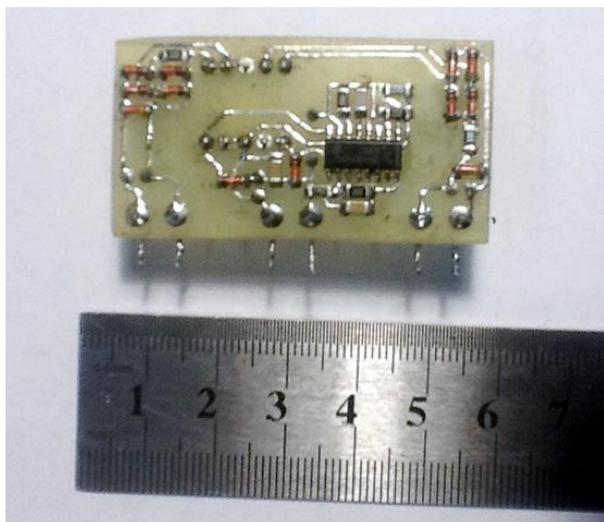


Рисунок 6. Внешний вид модуля питания для двух драйверов.

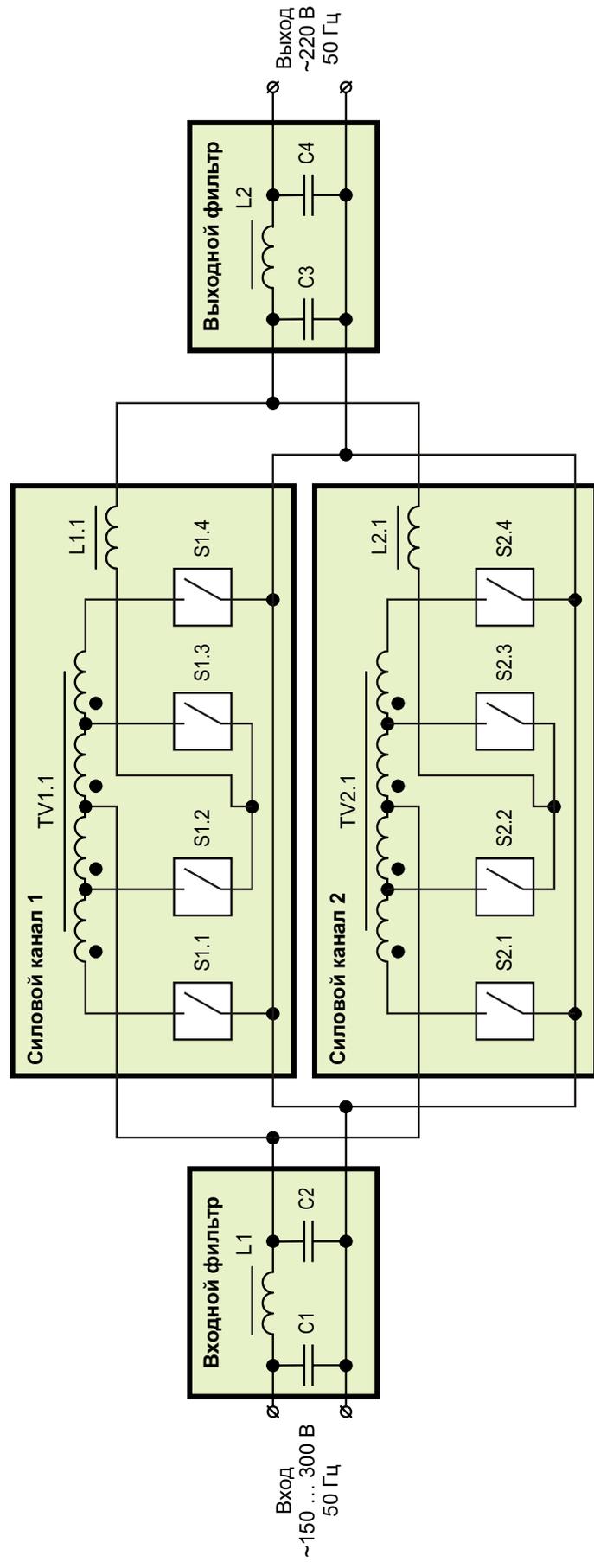


Рисунок 7. Схема импульсного стабилизатора напряжения мощностью 9 кВА.



**Рисунок 8.** Конструкция импульсного стабилизатора напряжения мощностью 9 кВА.

леров синхронных DC/DC конвертеров, подавая в цепь обратной связи выпрямленное и гальванически развязанное выходное напряжение.

Для точной и быстрой стабилизации, а также обеспечения быстродействующей защиты при аварии, необходимо использовать цифровые контуры управления, способные анализировать каждый цикл преобразования. Такие схемы управления можно построить на основе современных микроконтроллеров, например, STM32 с ядром Cortex M3. При их использовании напряжения на входе и выходе, ток нагрузки, температура транзисторов и другие необходимые параметры оцифровываются с помощью интегрированных АЦП микроконтроллера, и далее программным способом рассчитывается необходимое время включения ключей силовой части.

### Практическая проверка

Экспериментальная проверка в лабораторных условиях схем Рисунка 3 показала стопроцентную работоспособность идеи импульсного преобразования переменного тока. В развитие этой технологии был разработан импульсный стабилизатор напряжения промышленной сети с выходным током 41 А (среднеквадратическое значение), который при выходном напряжении 220 В обеспечивает питание нагрузки мощностью до 9 кВА. Стабилизатор имеет массу 13 кг при габаритах 255 × 380 × 170 мм.

Схема силовой части и внешний вид прототипа устройства показаны на Рисунках 7 и 8. Стабилизатор имеет два силовых канала мощностью 4.5 кВА, работающих в многофазном режиме. При входном напряжении 150 В, выходном – 220 В и токе нагрузки 41 А КПД преобразователя составляет 92%. Устройство может работать с любым видом нагрузки (минимальный коэффициент мощности равен 0), обеспечивает необходимый уровень защиты и, благодаря цифровому контуру управления, имеет время реакции 5 мс, недостижимое в традиционных сервоприводных, релейных или симисторных стабилизаторах.

### Заключение

АС/АС конвертеры на порядок сложнее аналогичных преобразователей постоянного тока. Специфика работы с переменным током, высокие напряжения, особенности нагрузки, аварийные режимы – все это требует от разработчика высокого уровня профессионализма, а порой и интуиции. Поэтому большинство АС/АС конвертеров так и остаются на уровне компьютерных моделей или экспериментальных макетов. За пределами данной статьи осталось много вопросов, в числе которых защита силовых транзисторов, особенности работы в многофазном режиме, работа на реактивную нагрузку, электромагнитная совместимость. Только по цифровому контуру управления можно написать книгу среднего размера.

В любом случае начало положено, а все возрастающая потребность в преобразова-

телях для солнечных и ветряных электростанций в прямом смысле слова заставит разработчиков досконально разобраться во всех тонкостях импульсного преобразования электрической энергии. **РЛ**

## Список источников

1. Кобзев А.В., Лебедев Ю.М., Михайличенко Г.Я., Семенов В.Д., Сидонский И.Б., Тараскин А.В. Стабилизаторы переменного напряжения с высокочастотным широтно-импульсным регулированием. – Москва: Энергоатомиздат. – 1986 г. – 152 с.
2. Кадацкий А.Ф., Русу А.П. Анализ энергетических процессов в импульсных преобразователях электрической энергии переменного тока // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (ТКЭА) – 2015. – №1. – С.22 – 32.
3. Кадацкий А.Ф., Русу А.П. Анализ принципов построения и режимов работы импульсных преобразователей электрической энергии // Практическая силовая электроника. – 2016. – №2 (62). – С.10 – 24.
4. Кадацкий А.Ф., Русу А.П. Анализ электрических и магнитных процессов в дросселях импульсных преобразователей электрической энергии // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (ТКЭА) – 2016. – №6. – С.17 – 29.
5. Климов В., Климова С. Двухнаправленные ключи в матричных структурах преобразователей переменного тока // Силовая электроника. – 2008. – №4. – С.58–61.

## Материалы по теме

1. [Datasheet Avago Technologies HCPL-3120](#)
2. [Datasheet Texas Instruments TL494](#)

# В чем различие между ПЛК и ПКА?

Zach Arnold

Machine Design

*Ключевыми факторами, определяющими выбор системы управления для вашего приложения, являются сложность процесса и требования к возможному расширению*

**П**рограммируемые логические контроллеры (ПЛК) и программируемые контроллеры автоматизации (ПКА) – это промышленные компьютеры, сконструированные и адаптированные для производственных сред. Эти компьютеры являются мозгами производственного процесса, обеспечивающими высоконадежное управление автоматизированным оборудованием.

ПЛК и ПКА очень похожи друг на друга, поскольку выполняют одни и те же основные функции. И, по мере развития технологии, различия между ними становятся все более размытыми. Все автоматизированные системы содержат ПЛК или ПКА, управляющие отдельными машинами или станциями. Кроме того, контроллеры могут быть запрограммированы для управления группами машин или станций.



*Fieldbus (Profibus) – типичная технология используемая для связи систем автоматизации. При наличии подключения к промышленному Ethernet (Profinet) модульная конструкция ПЛК позволяет легко заменять контроллеры.*



Наиболее заметное различие между ПЛК и ПКА заключается в их программных интерфейсах. ПКА более сложны, и программируются на Си или Си++. Напротив, ПЛК программируются с применением диаграмм лестничной логики – языка программирования, в котором используются символы, представляющие релейные электрические схемы. Эти различия в способах программирования определяют различия в архитектуре и возможностях двух типов компьютеров.

## ПЛК

ПЛК отличаются простотой прогона программы, но имеют ограниченный объем памяти и дискретные входы/выходы. Современные ПЛК, помимо традиционных цифровых и аналоговых входов/выходов, имеют высокоскоростные входы/выходы, выходы управления последовательностями событий и пропорционально-интегрально-дифференциального управления.

Многие ПЛК содержат встроенные средства сетевой поддержки, позволяющие организовать обмен между несколькими ПЛК, перераспределение входов/выходов, а также связь с человеко-машинными интерфейсами и средствами управления и сбора данных верхнего уровня. ПЛК особенно полезны для контроля более простых процессов в проектах автоматизации меньшего уровня сложности, не требующих быстрой масштабируемости.

## ПКА

ПКА имеют открытую архитектуру и модульную конструкцию. Это упрощает объединение устройств в группы, подключение их к сетям и системам и организацию взаимодействия друг с другом. ПКА используются для связи, контроля и управления многоканальными сетями и наборами устройств. Такая возможность обеспечивается использованием стандартных протоколов и сетевых технологий, таких как Ethernet, OPC и язык структурированных запросов (SQL).

Благодаря модульной конструкции, ПКА намного упрощают процесс расширения системы. Добавление и удаление компонентов выполняется легче. В дополнение к поддержке программирования на основе тегов, ПКА могут управлять тысячами точек ввода/вывода. В основанных на тегах языках программирования, используется одна



*Пarker Automation Controller – пример программируемого контроллера автоматизации (ПКА). ПКА предоставляют пользователям возможность, используя ASCII, разрабатывать собственные драйверы для подключения к уникальному оборудованию. Подобно персональным компьютерам, в них встроены средства визуализации, позволяющие, имея один интегрированный пакет инструментальных средств, программировать и логику, и человеко-машинный интерфейс.*

общая база данных имен тегов, которые перед привязкой к конкретному входу/выходу могут быть назначены множеству функций.

ПКА предоставляют повышенную гибкость программирования, большой объем памяти и лучшую устойчивость к последующим расширениям. Особенно полезны они в системах с большой долей аналоговых входов/выходов. Зачастую они будут внедряться в системах с повышенными требованиями к сетевому интерфейсу и в системах, требующих прямого интерактивного вмешательства пользователя.

## Что все это значит?

Казалось бы, исходя из описанных различий, можно сделать вывод, что ПАК будут логичным выбором для любой системы автоматизации. Однако это совсем не так. Все сводится к тому, что требуется сейчас, и что потребуется в будущем. Для того чтобы забить гвоздь для подвешивания фотографии, нет необходимости использовать кувалду. Точно также, не нужно тратить деньги на ПАК, чтобы запустить оборудование, требующее простейшего программирования. Все определяется сложностью выполняемых операций.

ПЛК идеальны там, где для управления оборудованием требуется сочетание простоты и скорости. ПЛК более рентабельны для стандартных систем автоматического управления. Возможностей ПЛК достаточно, чтобы



*Программируемые логические контроллеры, такие как приборы серии 90-70 компании GEW, имеют некоторые преимущества перед ПКА, включая лучшие скоростные характеристики, высокую степень модульности и пригодность для систем высокой доступности.*

помочь решить все требуемые задачи во многих проектах. ПЛК работают в самых разных машинах, таких как автоматизированное распылительное оборудование, дозаторы, системы управления движением и сборочное оборудование.

Область применения ПКА – уникальные крупномасштабные проекты повышенной сложности. Именно поэтому ПКА прекрасно подходят для архитектур сложных автоматизированных систем, состоящих из нескольких программных приложений на базе ПК. Объедините вышеупомянутые системы в единый автоматизированный процесс, и ПКА сможет управлять всеми из них.

Развитие технологий сделало возможным подключение ПКА и высокоуровневых ПЛК к Интернету для отправки и приема данных. Добавление устройств Интернета вещей к производственным операциям увеличивает объем информации, собираемой в реальном

времени и отправляемой заинтересованным сторонам в любой точке мира.

Подключение к Интернету также позволяет пользователям дистанционно управлять ПЛК и ПКА и изменять их функции, модифицируя параметры алгоритмов управления оборудованием – от таких простых, как увеличение или уменьшение скорости, до изменения характеристик движения и положения. Такой уровень оперативной настройки дает предприятиям возможность адаптировать производственные операции с меньшими потерями времени.

И ПЛК, и ПКА управляют машинами в автоматизированном процессе. Выбор того или иного устройства определяется сложностью процесса и требованиями к последующему масштабированию. В определении уровня ваших сегодняшних и будущих потребностей может помочь совместная работа с экспертом по автоматизации. **ПЛ**

# Использование импульсного преобразователя для питания прецизионного АЦП последовательных приближений в микромощных приложениях

Alan Walsh, Analog Devices

Расширение области использования высокоточных измерений требует все более и более высокой энергоэффективности источников питания. Это особенно актуально в связи с наступлением Интернета вещей, стимулирующего рост потребностей в беспроводных сенсорных измерительных узлах, носимых устройствах с автономным питанием для фитнеса и медицины и промышленных системах обработки сигналов, в которых используется изолированное питание, или питание, получаемое по петле 4-20 мА. В таких приложениях увеличение КПД мощности означает большее время жизни батарей, снижение периодичности обслуживания и упрощение конструкции источника питания.

Как правило, в точных измерительных системах для управления напряжением малошумящих шин питания прецизионных АЦП используются стабилизаторы с низким падением напряжения (LDO). Однако LDO стабилизаторы могут быть очень неэффективными, и нередко большая часть мощности рассеивается ими в виде тепла. В этой статье обсуждаются способы достижения более высоких значений КПД источников питания прецизионных АЦП последовательных приближений. Будет рассмотрено использование ультра-малопотребляющего импульсного стабилизатора, работающего в гистерезисном режиме, включая средства интеллектуального управления стабилизатором, синхронизированным с АЦП для улучшения шумовых характеристик, а также проанали-

зированы компромиссы между потребляемой мощностью и уровнем шумов.

В диапазоне средних и больших нагрузок (от сотен миллиампер до единиц ампер) импульсные регуляторы с фиксированной частотой переключения или с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) обеспечивают очень высокий КПД, часто превышающий 90%. Однако такой КПД достигается ценой пульсаций переключения, проявляющихся на фиксированной частоте от сотен килогерц до нескольких мегагерц. Как видно из Рисунка 1, коэффициент подавления пульсаций питания (power supply rejection ratio – PSRR) типичного АЦП последовательных приближений остается очень хорошим на низких

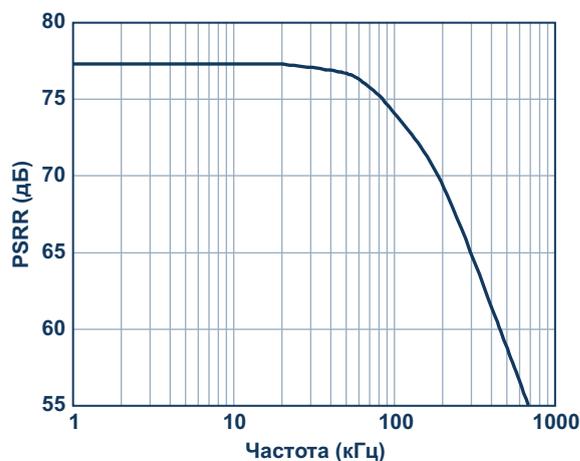
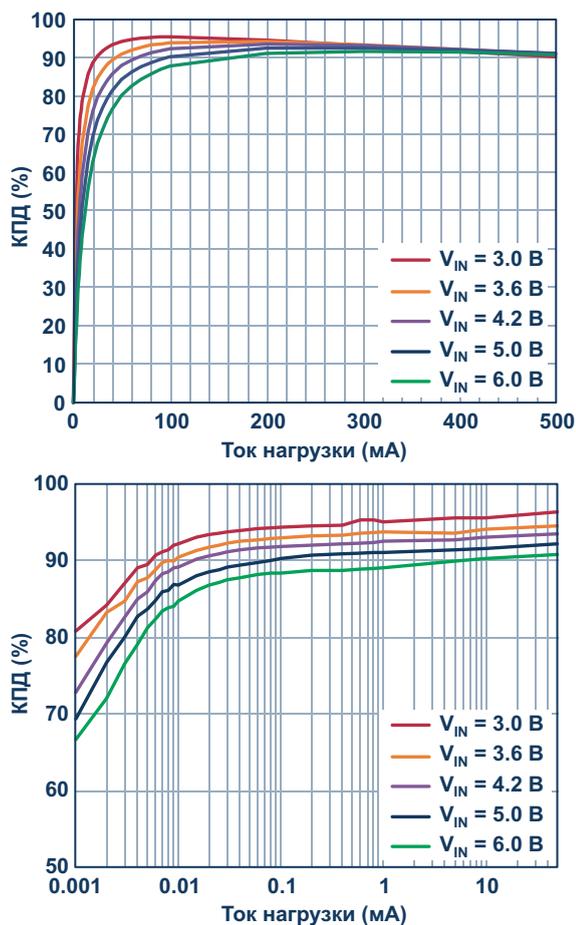


Рисунок 1. Частотная зависимость коэффициента подавления пульсаций питания АЦП последовательных приближений.

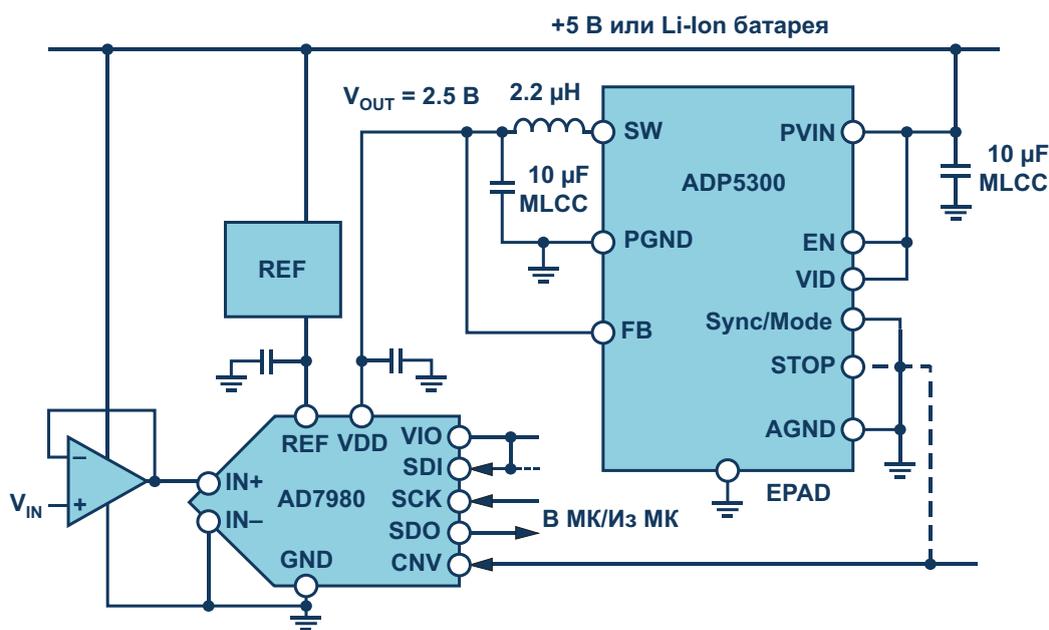


**Рисунок 2.** Зависимость КПД от тока нагрузки для режима ШИМ (вверху) и гистерезисного режима (внизу).

частотах вплоть до 100 кГц, после чего начинает быстро падать.

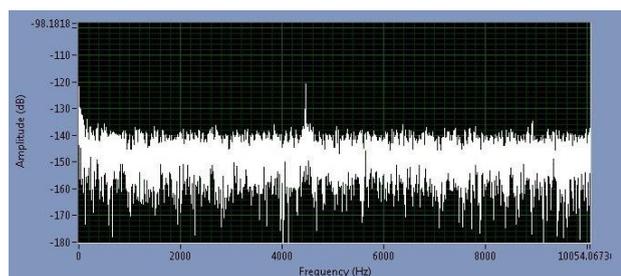
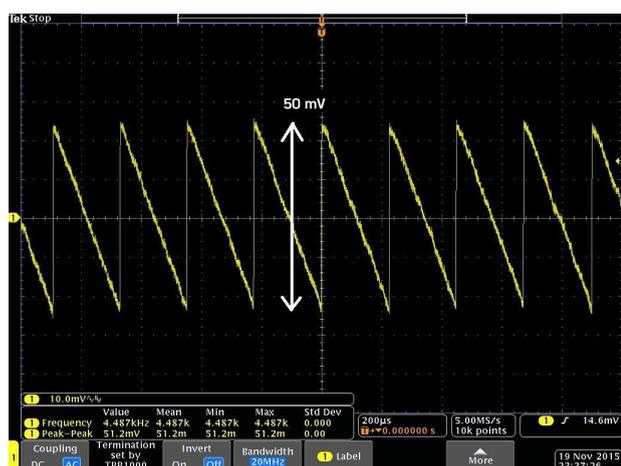
Типичные значения токов, потребляемых линиями питания  $V_{DD}$  высокоточных АЦП последовательных приближений, находятся в пределах от нескольких миллиампер до микроампер, если АЦП работает в режиме пониженной скорости преобразования, так что с точки зрения КПД нет никаких преимуществ в использовании преобразователя с фиксированной частотой переключения вместо LDO стабилизатора.

Однако высокоэффективные сверхмаломощные импульсные понижающие преобразователи могут работать в гистерезисном режиме с очень низким собственным током потребления. В гистерезисном режиме регулятор, поддерживая постоянство пикового тока индуктивности, заряжает импульсами ШИМ выходной конденсатор до напряжения, немного превышающего номинальное. Когда выходное напряжение увеличивается до значения, при котором измеренный выходной сигнал превышает верхний порог гистерезиса, регулятор переходит в режим ожидания. В режиме ожидания MOSFET верхнего и нижнего плеча, а также большинство схем отключаются для снижения тока потребления и, соответственно, для увеличения КПД (Рисунке 2). Во время ожидания выходной конденсатор отдает энергию в нагрузку, и выходное напряжение снижается до тех пор, пока не станет меньше нижнего порога гистерезисного компаратора. Регулятор просыпается и возобновляет генерацию импульсов ШИМ, чтобы опять зарядить выходной конденсатор.



**Рисунок 3.** Схема включения AD7980 и ADP5300.

В гистерезисном режиме частота пульсаций переключения является функцией выходного тока и параметров LC-цепи, и для нагрузок в несколько миллиампер находится в диапазоне единиц килогерц. На частотах в несколько килогерц прецизионный АЦП имеет очень хороший PSRR, который отлично выполняет функцию подавления/ослабления пульсаций переключения на выходе.



**Рисунок 4.** Пульсации переключения гистерезисного преобразователя ADP5300 (без постоянной составляющей) при питании AD7980 и спектр выходного сигнала АЦП при частоте выборки 1 Мвыб/с.

Для примера рассмотрим схему на Рисунке 3, в которой использован АЦП AD7980. Типовой ток, потребляемый этой микросхемой по выводу  $V_{DD}$ , равен 1.5 мА при частоте выборки 1 Мвыб/с, и пропорционально увеличивается по мере роста частоты. Как можно видеть из Рисунка 4, в схеме преобразования напряжения шины 5 В в 2.5 В частота пульсаций переключения равна 4.5 кГц, а их амплитуда составляет 50 мВ пик-пик. Эти пульсации ослабляются АЦП до уровня, определяемого значением его PSRR. БПФ выходного сигнала АЦП показывает пик с уровнем  $-120$  dBFS (дБ полной шкалы) на частоте

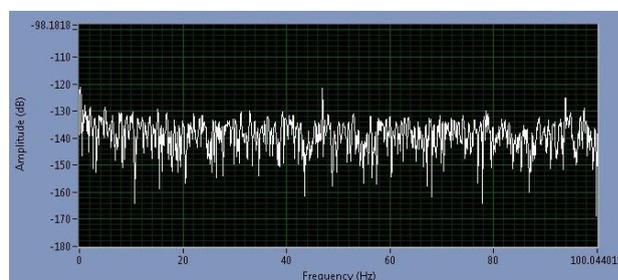
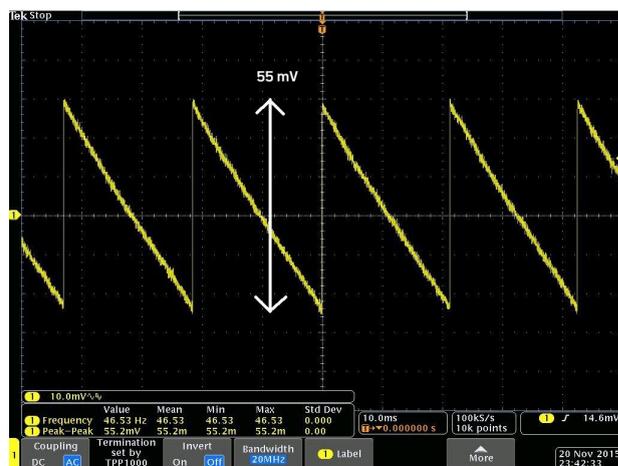
4.5 кГц. При входном диапазоне АЦП, равном 5 В, величина этого пика равна

$$5\text{В} \cdot 10^{-\frac{120\text{дБ}}{20}} = 5\text{мкВ пик-пик.}$$

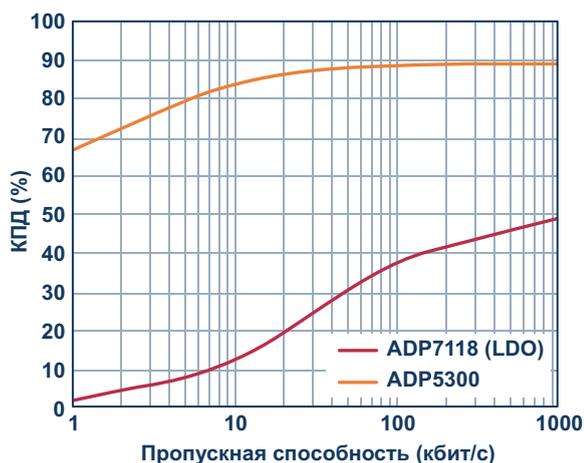
Такой уровень пульсаций на выходе АЦП чрезвычайно мал для 16-битного преобразователя; 5 мкВ пик-пик здесь соответствуют 0.07 от уровня младшего разряда. Пульсации столь низкого уровня неразличимы на фоне собственных шумов АЦП, их обнаружение требует большого количества усреднений, и во многих приложениях они будут просто не видны. Пересчет этих выходных пульсаций в PSRR дает

$$20 \log_{10} \frac{50\text{мВ}}{5\text{мкВ}} = 80\text{дБ.}$$

Полученное значение не сильно отличается от величины, которую можно получить из графика для PSRR АЦП AD7980 на Рисунке 1: примерно 77 дБ на частоте 4.5 кГц.



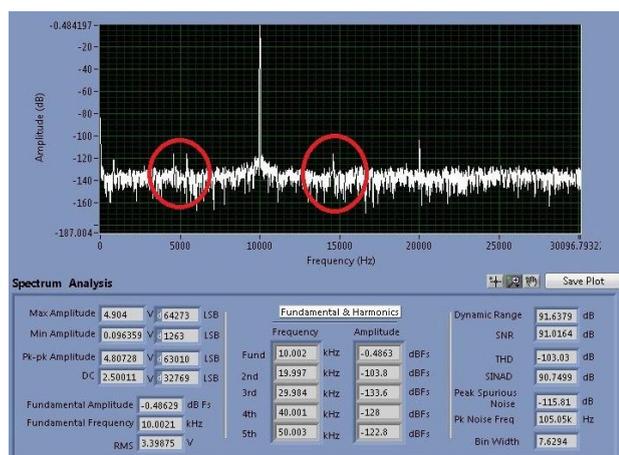
**Рисунок 5.** Пульсации переключения гистерезисного преобразователя ADP5300 (без постоянной составляющей) при питании AD7980 и спектр выходного сигнала АЦП при частоте выборки 10 квыб/с.



**Рисунок 6.** Зависимости КПД от частоты выборки АЦП при использовании преобразователя ADP5300 и LDO стабилизатора.

Если снизить частоту выборки до 10 квыб/с, потребляемый АЦП ток линейно уменьшится до 15 мкА (приблизительно в 100 раз), и, соответственно, частота пульсаций переключения ADP5300 сместится до 46.5 Гц (приблизительно в 100 раз), а их пиковая амплитуда, как видно из Рисунка 5, будет равна 55 мВ. Результат БПФ выходных пульсаций АЦП показывает пик на частоте 46 Гц, опять же, с амплитудой  $-120$  дБ (5 мкВ пик-пик), поскольку в рассматриваемом диапазоне частот изменение PSRR очень невелико. На частоте 93 Гц отчетливо видна вторая гармоника с уровнем порядка  $-125$  дБ.

Рисунок 6 позволяет сравнить зависимости от частоты выборки АЦП эффективности ADP5300 и LDO при входном и выходном



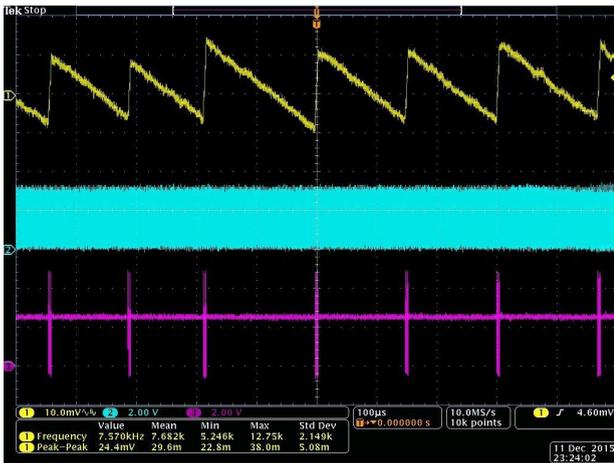
**Рисунок 7.** Характеристики AD7980 при использовании в качестве источника питания микросхемы ADP5300. Можно видеть боковые полосы, обусловленные модуляцией основной частоты сигнала (10 кГц  $\pm$  4.5 кГц).

напряжениях 5 В и 2.5 В, соответственно. Как и следовало ожидать, КПД импульсного регулятора существенно выше, чем LDO – 90% против 50% на скорости 1 Мвыб/с при входном напряжении 5 В, – и при этом сохраняет намного лучшие значения при более низких частотах выборки и токах потребления, оставаясь на уровне выше 80% при 5 квыб/с.

При частоте выборки АЦП, равной 1 Мвыб/с, схема с LDO регулятором потребляет от 5-вольтовой шины 1.5 мА или 7.5 мВт. При использовании ADP5300 ток, потребляемый от шины 5 В, равен 828 мкА, что соответствует 4.1 мВт. Таким образом, снижение мощности, потребляемой от источника питания АЦП, составляет 3.4 мВт, или 45%.

Характеристики AD7980 при частоте 1 Мвыб/с и при использовании микросхемы ADP5300 в качестве источника напряжения  $V_{DD}$  показаны на Рисунке 7 для входного сигнала 10 кГц с уровнем, почти равным полной шкале АЦП ( $-0.5$  дБ). В части отношения сигнал/шум (91.5 дБ) и общих нелинейных искажений ( $-103$  дБ) АЦП по прежнему не выходит за границы, установленные технической спецификацией. Однако на частоте 4.5 кГц пульсации переключения ADP5300 приобретают модуляцию, проявляющуюся в виде пиков на частотах 10 кГц  $- 4.5$  кГц (5.5 кГц) и 10 кГц  $+ 4.5$  кГц (14.5 кГц). Уровень этих пиков все еще очень низок ( $-116$  dBFS), и намного меньше общих нелинейных искажений, вносимых второй гармоникой основной частоты сигнала ( $-103.8$  dBFS на частоте 20 кГц). Эти артефакты составляют лишь незначительную долю от уровня младшего разряда 16-битного АЦП, поэтому во многих приложениях использование ADP5300 для снижения потребляемой мощности вполне приемлемо.

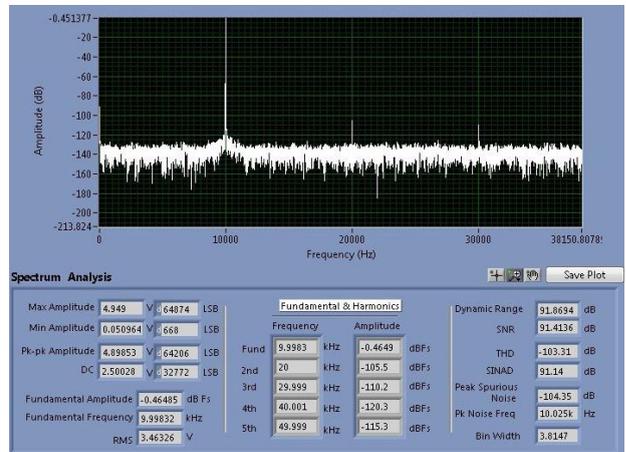
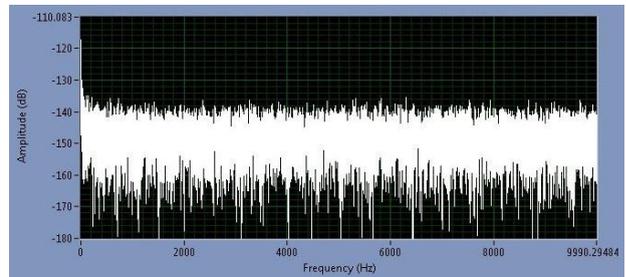
Предусмотренная в ADP5300 функция остановки генерации (STOP) может полностью удалить артефакты преобразования из спектра выходного сигнала АЦП. Высокий уровень на выводе STOP микросхемы ADP5300 блокирует выход SW, останавливая работу преобразователя. Этот режим может использоваться для быстрого выключения генератора на время выполнения чувствительного к шумам процесса преобразования в АЦП. Для этого выводы CNV и STOP соединяются вместе (см. Рисунок 3), и уровень сигнала CNV, вырабатываемого процессором, сохраняется активным (высоким) на все время преобразования АЦП. По истечении этого времени, максимальное значение кото-



**Рисунок 8.** Пульсации переключения микросхемы ADP5300 (желтый цвет) при использовании функции STOP и частоте преобразования 500 квыб/с; сигнал CNV/STOP (синий) и вывод SW (розовый).

рого для АЦП AD7980 равно 710 нс, передним фронтом CNV может запускаться преобразование. Результаты показаны на Рисунке 8. В этом случае частота пульсаций становится более изменчивой, так как узел SW может включаться лишь в определенные моменты времени. Заметьте также, что время включения выхода SW относительно заднего фронта сигнала STOP может составлять сотни наносекунд. На Рисунке 8 включение вывода SW происходит приблизительно через 850 нс после спадающего фронта сигнала STOP. Это означает, что использовать функцию STOP на частоте 1 Мвыб/с нельзя, поскольку стабилизация напряжения  $V_{DD}$  прекратится из-за того, что у вывода SW не будет достаточного времени для перехода в режим регулирования. По этой причине функция STOP применима лишь на скоростях, не превышающих 500 квыб/с.

Как можно видеть из Рисунка 9, при использовании сигнала STOP шумовая дорожка АЦП полностью очищается от пиков пульсаций переключения. При частоте входного сигнала 10 кГц мы видим только нормальные гармоники основного сигнала, без модуляции и каких-либо артефактов. Однако звон на выводе SW при использовании режима STOP (когда сигнал STOP имеет высокий уровень) приводит к падению КПД. КПД ADP5300 при частоте выборки АЦП 500 кГц снижается примерно до 75%. Тем не менее, это все еще значительно выше, чем КПД с LDO регулятором (менее 50%), и дает возможность обмена характеристик на потребляемую мощность, для чего внешнему процессору или микроконтроллеру нужно выделить отдельную линию управления функцией STOP.



**Рисунок 9.** Характеристики AD7980 при использовании ADP5300 в качестве стабилизатора напряжения питания шины  $V_{DD}$  с функцией STOP, включаемой на время преобразования.

Цена и площадь печатной платы схемы, основанной на ADP5300, сравнимы тем, что требуется для LDO регулятора. Единственным дополнением к перечню компонентов является чип-индуктивность 2.2 мкГн, которая может иметь типоразмер всего 0603 – такой же, как у входного и выходного конденсаторов

для варианта с LDO. В чувствительных к потребляемой мощности приложениях без повышенных требований к точности это делает импульсный преобразователь привлекательной альтернативой использованию LDO.

Высокоэффективные сверхмаломощные импульсные регуляторы подобные ADP5300 при питании прецизионных АЦП, таких как AD7980, от шины 5 В по сравнению с LDO могут сберечь до 45% мощности. Это имеет множество преимуществ в приложениях Интернета вещей, увеличивая срок службы

батарей в беспроводных сенсорных узлах или носимых устройствах для фитнеса, в изолированных промышленных устройствах с повышенными требованиями к энергоэффективности и в системах, получающих питание от токовой петли 4-20 мА. **РЛ**

### Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices AD7980](#)
2. [Datasheet Analog Devices ADP5300](#)
3. [Datasheet Analog Devices ADP7118](#)

# Коммутация и защита в системах с батарейным питанием

*Pinkesh Sachde, Linear Technology*

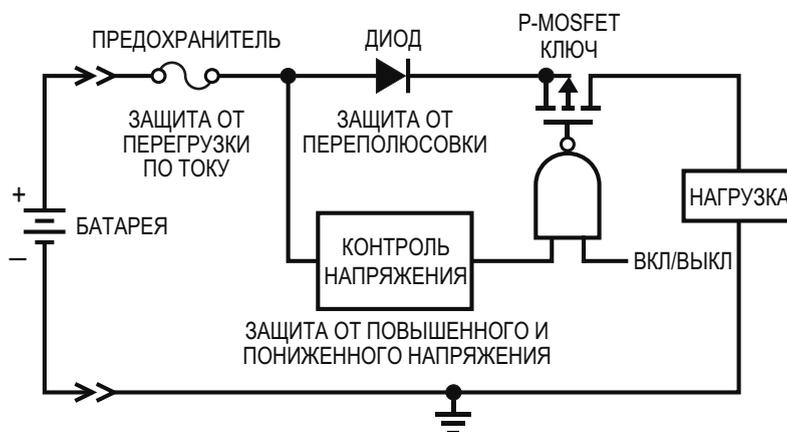
## Введение

Электроника с батарейным питанием создает множество проблем для инженера, занимающегося энергопитанием системы. В общем случае, часть схемы, относящаяся к батарее (до DC/DC преобразователя), может быть разделена на четыре секции: коммутирующую, зарядную (в случае использования аккумуляторов), контрольную и защитную. Коммутирующая секция осуществляет выбор одного из нескольких источников питания, доступных в типичной системе, таких как сетевой адаптер, порт USB и внутренняя батарея. При этом схема зарядки должна быть настроена на конкретный тип аккумулятора. Схема контроля следит за напряжением батареи, зарядом и температурой, использование значений которых наряду со схемой защиты повышает надежность устройства. В этой

статье мы рассмотрим возможности и преимущества, предоставляемые новым микро-мощным устройством защиты батарей, идеально подходящим для различных приложений с аккумуляторным питанием – от автомобильного и медицинского оборудования до бытовой техники.

## Особенности конструирования устройств с батарейным питанием

Даже простейшие проблемы, связанные с батареями, а не только пожары и взрывы, могут запятнать репутацию продукта. Поэтому вопросам, связанным с безопасностью батарей, необходимо уделять самое пристальное внимание. Для каждого аккумулятора указываются допустимые значения токов заряда и разряда. Превышение этих значений приводит к перегреву аккумулятора, кото-



**Рисунок 1.** Возможный вариант защиты батареи и нагрузки с помощью схемы на дискретных компонентах.

рый не только сокращает срок его службы, но и в худшем случае может стать причиной взрыва. От перегрузки по току схему можно защитить с помощью предохранителей, однако они громоздки, медленны и имеют большой разброс порогов срабатывания (Рисунок 1). Для защиты от необратимых повреждений аккумуляторы должны отключаться от нагрузки прежде, чем достигнут состояния глубокого разряда. Для Li-Ion аккумуляторов с напряжением 3.7 В этот уровень составляет примерно 2.5 В. Для отключения аккумулятора от нагрузки необходима функция блокировки при пониженном напряжении. Это можно сделать с помощью устройства, состоящего из компаратора, источника опорного напряжения и твердотельного ключа. Для включения Р-канального MOSFET верхнего плеча не нужен зарядовый насос, что уменьшает расход заряда батареи, но выбор Р-канальных MOSFET ограничен, и они более дороги, чем N-канальные при том же сопротивлении канала. Напротив, N-канальные MOSFET ключи нижнего плеча более эффективны, и могут использоваться, если линия «земли» не требует соединения с защитным заземлением. Порог блокировки при пониженном напряжении должен иметь достаточный гистерезис, в противном случае схема будет генерировать, циклически выключаясь, а затем вновь включаясь после восстановления напряжения батареи при отсоединенной нагрузке.

Закончив с защитой аккумулятора, мы должны перейти к защите нагрузки. Ограничители бросков напряжения работают лишь в течение коротких отрезков времени, пока продолжается звон или выброс напряжения, но сгорают при длительных или постоянных перенапряжениях. Поэтому для защиты нагрузки от повышенного входного напряжения потребуется еще один компаратор. Если батарея подключена неправильно, и полярность перепутана, нагрузка, не способная противостоять отрицательным напряжениям, может быть повреждена. Для защиты от отрицательного напряжения часто включают последовательный диод. Однако этот диод рассеивает значительную мощность, а прямое падения напряжения существенно уменьшает напряжение на нагрузке.

Итак, мы видим, что для обеспечения комплексной защиты систем с батарейным питанием требуется множество дискретных компонентов и схем. В то же время, потребляемый этими схемами ток должен быть очень

низким, чтобы не сокращать ресурс батареи. Например, модули автомобильной электроники должны иметь ток покоя менее 100 мкА, чтобы не разряжать аккумуляторную батарею при длительной стоянке автомобиля. Для отключения от аккумуляторной батареи силовоточных схем могут использоваться реле. Кроме того, реле используются для включения и выключения нагрузки, однако их большие размеры препятствуют миниатюризации электронных схем. Очевидно, что необходим более эффективный и простой способ защиты.

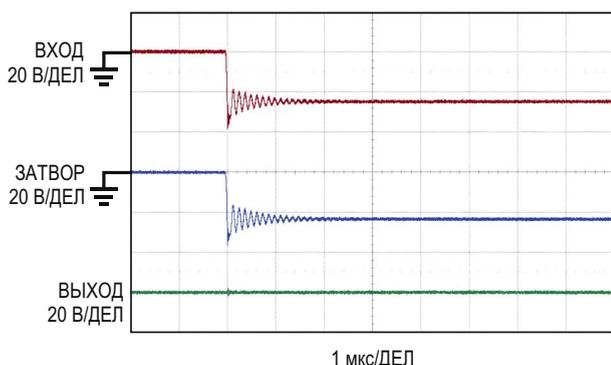
## Энергоэффективное решение для контроля и защиты систем с батарейным питанием

LTC4231 – это контроллер горячей замены с ультранизким током потребления, обеспечивающий безопасную установку и изъятие плат или батарей в системах с напряжением питания от 2.7 В до 36 В (Рисунок 2). Интервал 2.7 В ... 36 В покрывает широкий диапазон типов аккумуляторов, включая свинцово-кислотные, Li-Ion и многоэлементные NiMH, NiCad или щелочные батареи.



**Рисунок 2.** Контроллер горячей замены и разъединитель нагрузки LTC4231, потребляющий всего 4 мкА, идеален для систем с батарейным питанием.

LTC4231, управляя внешними N-канальными MOSFET с низкими сопротивлениями каналов, плавно заряжает конденсаторы печатной платы, не допуская искрения, обгорания контактов разъемов и сбоев системы. Параметры мягкого запуска и предельный уровень пускового тока легко устанавливаются с помощью RC-цепочки, подключенной к затвору MOSFET. В нормальном режиме работы (MOSFET полностью открыты) синхронизируемый разъединитель цепи и схема



**Рисунок 3.** Когда батарея подключена неправильно, то есть, входное напряжение равно  $-24\text{ В}$ , LTC4231 защищает нагрузку, блокируя прохождение отрицательного напряжения на выход. Для защиты от переплюсовки используются встречно включенные MOSFET (показанные на Рисунке 2).

быстрого ограничения тока обеспечивают двухуровневую защиту от перегрузки по току. При небольших перегрузках активируется таймер отказов, и по истечении задаваемого им временного интервала открывается MOSFET, который отключает нагрузку. При тяжелых перегрузках или при коротких замыканиях активируется таймер отказов, а ток нагрузки ограничивается на уровне 60% от порога срабатывания разъединителя. В зависимости от варианта исполнения микросхемы, LTC4231 после перегрузки либо остается выключенной (LTC4231-1), либо автоматически включается после охлаждения в течение 500 мс (LTC4231-2).

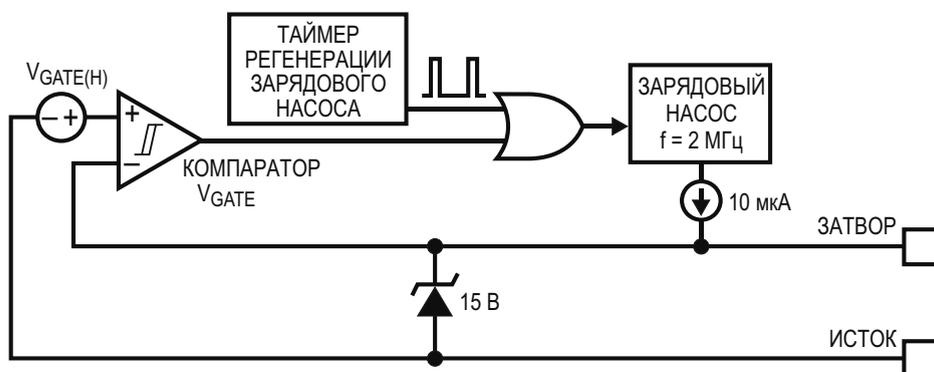
Цепь защиты от пониженного напряжения отключает батареи, не допуская их глубокого разряда, а регулируемый гистерезис предотвращает генерацию при восстановлении батареи после удаления нагрузки. Узел защи-

ты от повышенного напряжения отсоединяет нагрузку, предохраняя ее от повреждения. Кроме того, управляя встречно включенными N-канальными MOSFET (Рисунок 3), LTC4231 защищает последующие цепи от переплюсовки батарей с напряжением до 40 В. Если защита от переплюсовки не нужна, будет достаточно одного MOSFET.

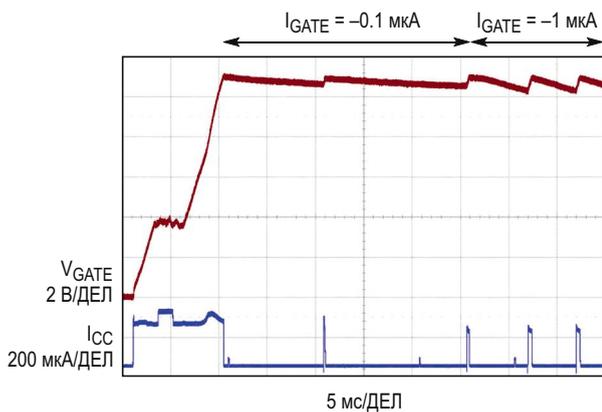
Несмотря на столь большое количество выполняемых функций, устройство в нормальном режиме работы потребляет менее 4 мкА, а при переходе в режим останова ток уменьшается до 0.3 мкА, и выключается внешний N-канальный MOSFET, чтобы отсоединить нагрузку и не расходовать энергию батарей. Для снижения рабочего тока резистивные делители, задающие пороги включения защиты при повышенном и пониженном напряжении, подключаются к стробируемой земле, благодаря чему протекающий через них средний ток уменьшается в 50 раз.

## Технологии снижения собственного тока потребления

В LTC4231 реализованы две инновационные технологии, снижающие потребляемый ток во время нормального режима работы, и обеспечивающие уровень защиты, не худший, чем у других устройств, потребляющих несоизмеримо большие токи. Для включения внешнего N-канального MOSFET и снижения сопротивления его канала в LTC4231 используется внутренний зарядовый насос, за счет которого напряжение на затворе превышает входное напряжение не менее чем на 10 В. В других контроллерах зарядовый насос работает постоянно, даже после того, как поданный на затвор управляющий сигнал открыл



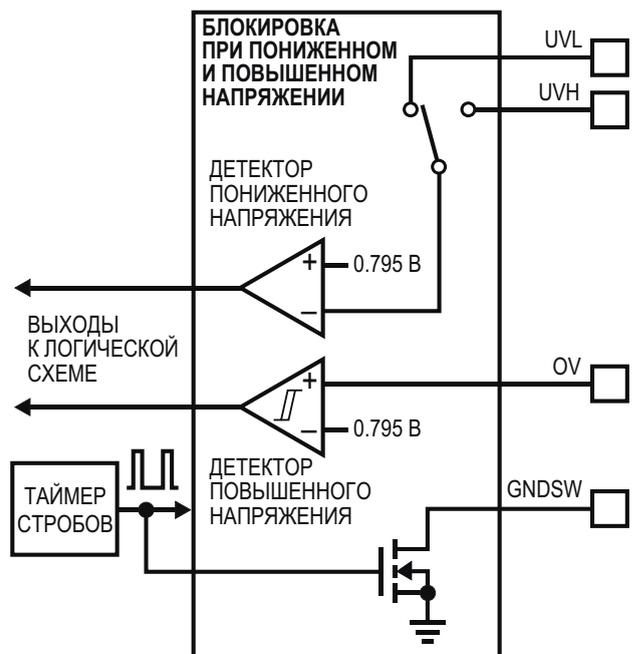
**Рисунок 4.** Для снижения потребляемого тока LTC4231 периодически активирует зарядовый насос лишь на время, необходимое для восстановления напряжения на затворе MOSFET.



**Рисунок 5.** Период регенерации напряжения затвора MOSFET показан для двух различных значений токов утечки. (Здесь  $V_{GATE}$  – напряжение затвор-исток;  $I_{GATE}$  – ток утечки затвора;  $I_{CC}$  – ток, потребляемый микросхемой LTC4231).

транзистор, то есть, фактически на холостом ходу, что существенно увеличивает потребление тока. Напротив, LTC4231 отключает зарядовый насос после того, как напряжение на затворе MOSFET достигнет пикового значения. Если напряжение на затворе снижается вследствие утечки, зарядовый насос включается, чтобы передать импульс заряда и восстановить напряжение затвора. Это иллюстрируется Рисунками 4 и 5 для токов утечки затвора 0.1 мкА и 1 мкА. Такая технология позволяет уменьшить потребляемый зарядовым насосом ток в 50...100 раз, поскольку ток 200 мкА включенного зарядового насоса в спящем режиме падает до 2 мкА.

Второй способ снижения потребляемого LTC4231 тока основан на периодической, каждые 10 мс, выборке входного напряжения и сравнения его с порогами недо- и перенапряжения. Для этого внешний резистивный делитель напряжения подключается к земле не напрямую, а через стробируемый узел GNDSW (Рисунок 6). Периодическая выборка снижает ток, потребляемый делителем, в 50 раз, что определяется соотношением периода выборки (10 мс) и окна выборки (200 мкс). Компараторы, контролируемые выходы UVL, UVH и OV, включаются только во время окна выборки, благодаря чему потребляемый ими средний ток также уменьшается в 50 раз. Период выборки 10 мс для устройств с батарейным питанием вполне достаточно, поскольку напряжение на батарее меняется медленно. Однако если выход напряжения за верхнюю или нижнюю границу разрешенного



**Рисунок 6.** Для снижения потребляемого тока в 50 раз напряжения сравниваются с порогами только внутри окон 200 мкс каждые 10 мс (коэффициент заполнения 2%). На время выборки вывод GNDSW подключается к шине GND через внутренний ключ с сопротивлением 80 Ом.

диапазона фиксируется при включении системы, LTC4231 удерживает MOSFET в закрытом состоянии, чтобы исключить проникновение недопустимого напряжения в нагрузку.

## Заключение

Функциональность, портативность и удобство пользования множества новых электронных приложений – беспроводных датчиков, спортивных браслетов, очков виртуальной реальности, дронов, роботов – требуют использования в них автономного питания. Аккумуляторы с высокой плотностью энергии, такие как Li-Ion, в глазах общественного мнения являются источником опасности. LTC4231 обеспечивает простое, компактное и надежное микромощное решение для горячего подключения и замены батарей, особенно в энергоемких приложениях, защищая систему от глубокого разряда аккумуляторов, перегрузки или короткого замыкания выхода, перенапряжения и неправильной полярности подключения батарей. **PL**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTC4231](#)

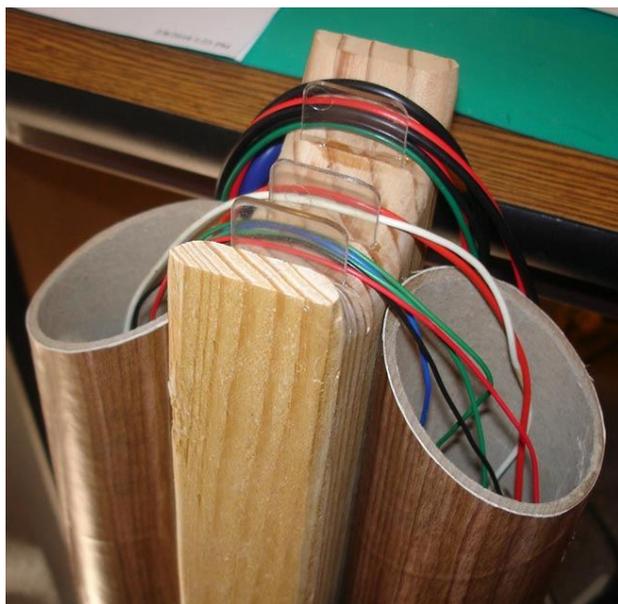
# Слишком много проводов? Сделайте себе органайзер

Martin Rowe

EDN

**П**ровода и кабели могут стать ночным кошмаром. У каждого из нас их слишком много, будь то компьютерные кабели, сетевые шнуры, кабели USB, патч-корды и тому подобное. Упорядочить их хранение всегда непросто.

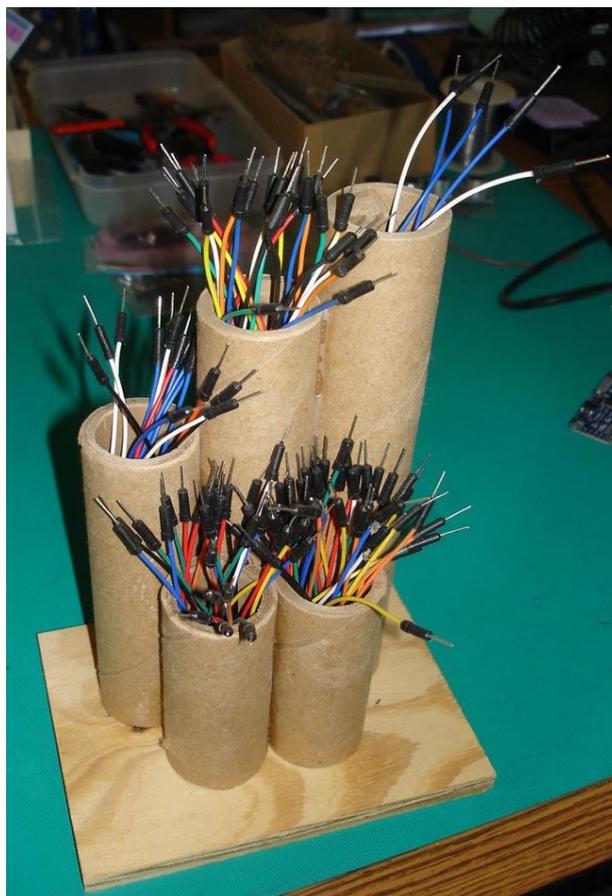
Другую проблему создают провода с наколками. Бывший шеф-редактор EDN Джон Титус сделал два органайзера из подручных материалов. Он писал: «Наконец, это клубок штекеров и "крокодилов" взбесил меня окончательно. Я старался держать их смотанными и разобранными по размерам, развешивая на арматуре настольной лампы. Но что бы я ни пробовал делать, они все равно запутывались или занимали слишком много места».



**Рисунок 1.** Этот органайзер для кабелей удерживает болтающиеся провода не месте.

Вот перечень материалов, необходимых для обоих держателей:

- Кусок фанеры
- Картонные гильзы, подобные тем, на которые наматываются бумажные полотенца или оберточная бумага
- Пластиковые разделители (3)



**Рисунок 2.** Короткие провода храните в этом наборе труб.

- Деревянный брусок сечением 5×10 см
- Клей ПВА

На Рисунке 1 показан органайзер, сделанный из бруска и двух труб. Чтобы резать под углом трубы, Титус использовал ленточную пилу, а углубления вырезал фрезой. Если таких инструментов у вас нет, возможно, в зависимости от толщины стенок, вы сможете разрезать трубу с помощью ножниц или ножовки, а выборки в бруске сделать стамеской. Готовое изделие может получиться у вас не таким эстетичным, как у Титуса, но все равно, оно будет функциональным. Для крепления бруска к столу Титус использовал зажим, позволявший снять его при необходимости.

На Рисунке 2 показан настольный органайзер для проводов с наконечниками. Вы без труда можете сделать что-нибудь подо-

бное, отрезав ножницами часть картонной трубы от рулона бумажных полотенец, а затем приклеив ее к фанерному основанию.

«Теперь короткие провода я хранил отдельно от длинных, а для мощных проводов со штекерами "Banana" выделил отдельное место, – писал Титус. – Эти большие провода не входят в трубу».

Как всегда, не обошлось без неожиданных последствий. «Сначала мои кошки подумали, что длинные провода я развесил для их развлечения, но затем они оставили провода в покое».

Иногда для решения простой, но раздражающей проблемы достаточно немного изобретательности и кое-каких инструментов. Лучше всего то, что эти органайзеры не требуют ни подключения, ни программирования. **РЛ**

# Что нужно знать о портах ввода-вывода Raspberry Pi

## Часть 2

Окончание. Начало в номере 06-2017

element14

### Цифровые входы RPi

#### Типичный пример: кнопки

Порты GPIO могут быть преобразованы в цифровые входы, состояние которых отслеживается программно. Простейший пример использования входов – подключение обычной кнопки (Рисунок 11).

Принципиальная схема подключения кнопки изображена на Рисунке 12. Обратите внимание, что на макетной плате остается подключенным и светодиод из примера в первой части статьи, но на текущей схеме он не показан.

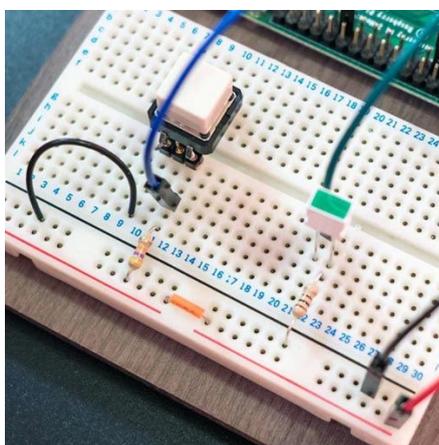


Рисунок 11. Кнопка подключена к разъему GPIO платы RPi.

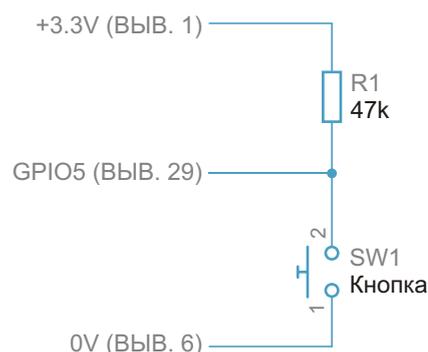
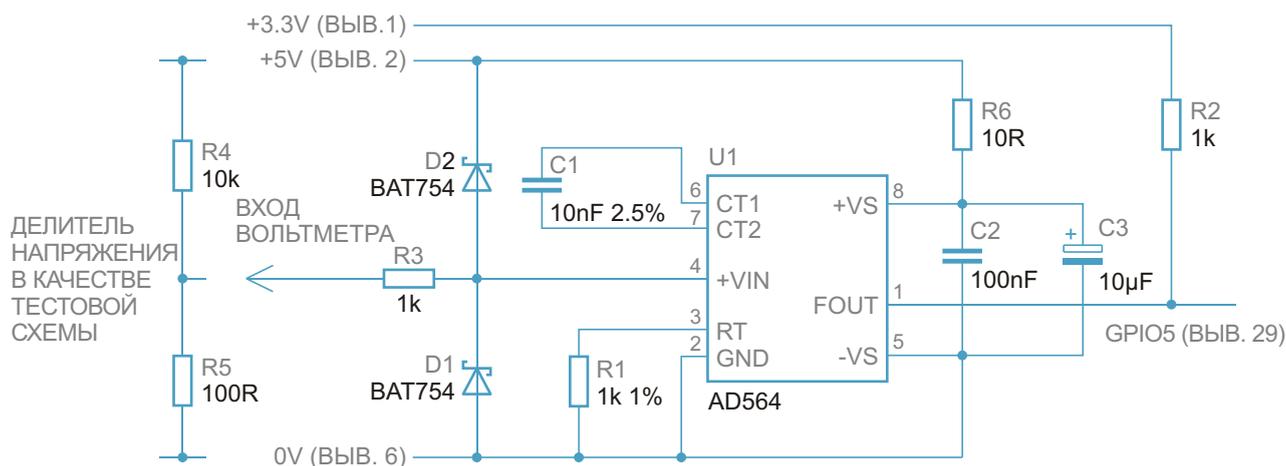


Рисунок 12. Схема подключения кнопки к разъему GPIO.

Как видно из схемы, если кнопка не нажата, вход GPIO5 будет подключен через резистор к шине 3.3 В. Входной порт RPi имеет высокое входное сопротивление, поэтому напряжение на входной линии будет близко к 3.3 В. Это означает, что при отпущенной кнопке RPi будет определять состояние входа как «лог. 1». Когда кнопка нажата, напряжение на входе будет равно 0 В, что является «лог. 0».

Для этой простой схемы величина сопротивления резистора R1 не критична и может находиться в диапазоне от 1 кОм до 47 кОм, однако низких значений следует избегать, поскольку в этом случае увеличивается ток, потребляемый при нажатии кнопки.

Исходный код программы для чтения состояния кнопки доступен в разделе загрузки.



**Рисунок 13.** Принципиальная схема вольтметра для измерения напряжения с помощью RPi.

зок (файл с именем *Listing\_4(Button).txt*). Сохраните код в файле с именем *button-test.py* и запустите на выполнение командой

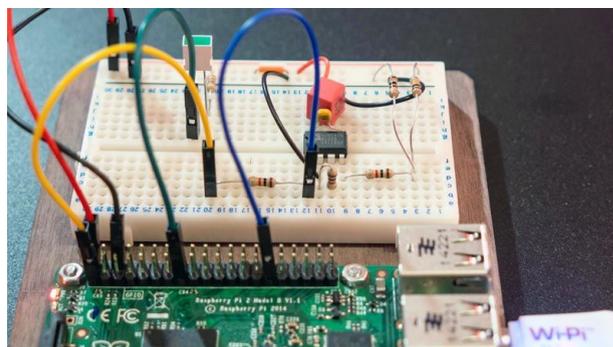
**`sudo python button-test.py`**

Результат выполнения программы выводится на экран в виде сообщения о текущем состоянии кнопки и количестве нажатий на нее. При выполнении этого примера вы заметите, что иногда значение счетчика становится больше реального количества нажатий на кнопку, и это происходит из-за «дребезга» контактов. Примерно то же самое происходит и при отпускании кнопки. Решение состоит в использовании механизма подавления «дребезга» контактов (debouncing). Этот механизм может быть как аппаратным, так и программным, причем последний распространен больше. В исходном коде, приведенном в файле *Listing\_5(Button\_Debounce).txt*, подавление дребезга контактов кнопки реализовано, и подсчет количества нажатий кнопки будет более точным. Единственное отличие от предыдущего кода заключается в том, что теперь с задержкой 20 мс выполняется вторая проверка состояния входа – за это время дребезг контактов прекращается.

### Еще один пример: вольтметр

Как известно, платы RPi имеют только цифровые порты ввода/вывода, но в реальном мире используются аналоговые величины, которые, возможно, необходимо измерять, или контролировать. В следующем примере демонстрируется преобразование аналоговой величины в цифровой сигнал, который можно прочитать с помощью входов RPi.

Примером может служить очень простой, но точный вольтметр с диапазоном измерений 0 ... 1 В (Рисунки 13, 14). Учтите, что заменить портативный мультиметр он не может, поскольку не имеет необходимых цепей защиты, и может выйти из строя сам или повредить плату RPi, если используется для чего-либо, выходящего за рамки описанных здесь примеров.



**Рисунок 14.** Схема вольтметра, собранная на макетной плате.

В схеме используется микросхема AD654 (преобразователь напряжение-частота), которая генерирует прямоугольные импульсы с частотой, зависящей от входного напряжения. Цифровой выход Fout микросхемы подключен к входу GPIO5 (вывод 29 разъема GPIO). Максимальная частота прямоугольных импульсов при указанных на схеме номиналах элементов равна 10 кГц, поэтому для определения входного напряжения нам потребуется точная система отсчета времени. Код для этого примера (файл *Listing\_6(Voltmeter).txt*) написан на Си и использует

библиотеку `wiringpi`, написанную Гордоном Хендерсоном (Gordon Henderson). Прежде всего, установите библиотеку `wiringpi`, для чего выполните следующие команды:

```
mkdir development  
cd development  
git clone git://git.drogon.net/wiringPi  
cd wiringPi  
./build.
```

Сохраните код в файле с именем `voltmeter.c` и скомпилируйте его командой

```
gcc -o voltmeter -lrt -lwiringPi voltmeter.c.
```

Чтобы запустить программу, выполните следующую команду:

```
sudo ./voltmeter.
```

Для повышения точности измерений в программе используется усреднение данных. Длительность входных прямоугольных импульсов быстро измеряется 64 раза, затем полученные значения суммируются и делятся на 64. По окончании вычислений включается задержка на одну секунду для выполнения других процессов, и затем цикл измерения повторяется

Несколько элементов в схеме вольтметра также влияют на точность измерений. Конденсатор `C1` и резистор `R1` задают характеристики преобразования, поэтому желательно выбрать пленочный полипропиленовый конденсатор и точный резистор с допуском 1%. Можно использовать подстроечный резистор. Напряжение питания схемы 5 В поступает с разъема `GPIO`, но его реальное значение может несколько отличаться от 5 В, поэтому лучше использовать отдельный более точный источник питания.

Для быстрой проверки схемы можно использовать делитель напряжения, состоящий из двух резисторов. Схема включения делителя показана в левой части схемы вольтметра (Рисунок 12). Если резисторы прецизионные и напряжение питания в точности равно 5 В, расчет напряжения на выходе делителя дает 0.04950 В. Значение, полученное в результате реального программного измерения, составило 0.04991 В. Неплохо для такого простого проекта!

Диоды Шоттки `D1` и `D2` в схеме не являются обязательными, но настоятельно рекомендуются, поскольку они обеспечат некоторую защиту микросхемы, если случайно на вход будет подано напряжение вне диапазона 0...1 В.

## Советы, касающиеся использования входов

### Защищенные входы

`RPi` можно защитить от случайного попадания высокого напряжения, добавив к используемым входам дополнительную схему. В некоторых случаях очень хорошей и недорогой альтернативой показанной ниже схеме (Рисунок 15) может служить оптрон, способный защитить входы `RPi` от напряжений до 60 В и справиться с переплюсовкой. Транзистор `BC547B` в схеме на Рисунке 14 можно заменить на `2N3904` или `BC549`. Допустимая мощность рассеивания резистора `R1` может быть 0.25 Вт при входных напряжениях до 50 В, в противном случае лучше использовать 0.5 Вт.

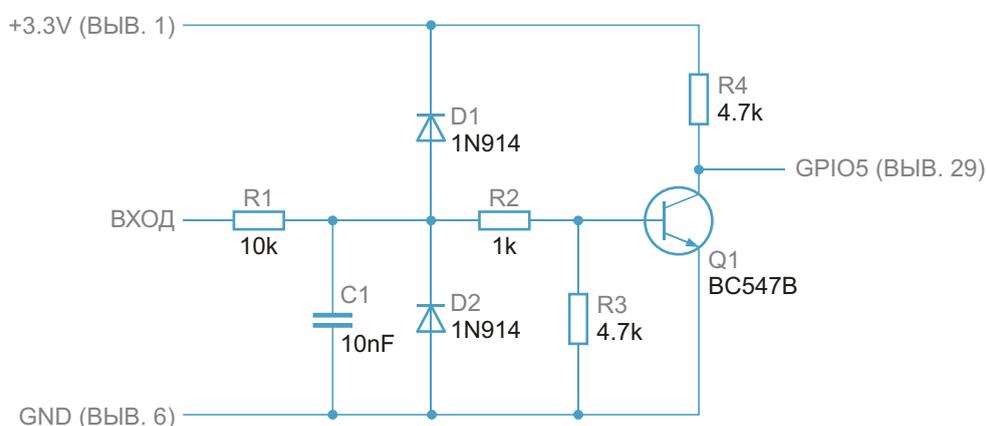


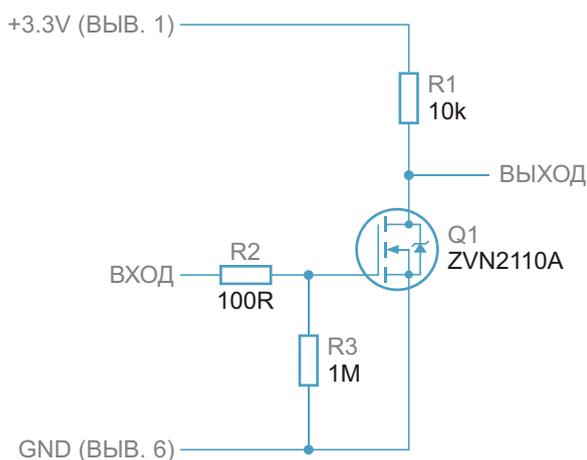
Рисунок 15. Дополнительная схема для защиты входов `RPi`.

Схема инвертирует входной сигнал, переключаясь в «лог. 0» при входном напряжении выше 2 В.

### Подключение к 5-вольтовой логике

Прямое подключение устройств с 5-вольтовыми логическими выходами к входам RPi может вывести плату из строя. В этом случае есть множество решений.

Если состояние 5-вольтового логического выхода меняется относительно медленно, можно рассмотреть возможность использования резистивного делителя на входе RPi, но к быстрым схемам такой способ не применим. Тогда намного более хорошим решением будет использование буферной микросхемы. Для средних скоростей (до 100 кГц) вполне подойдет схема на N-канальном MOSFET ZVN2110A (Рисунок 16). Эта схема также инвертирует входной сигнал.



**Рисунок 16.** Схема простого преобразователя логических уровней.

Показанный на схеме транзистор можно заменить на ZVNL120A или VN10LP.

При пайке полевых транзисторов следует соблюдать основные меры предосторожности. При сборке устройства сначала установите резистор R3 и только после этого извлеките MOSFET из защитной упаковки и запаяйте в схему. Резистор R3 обеспечит некоторую защиту.

### Скорость работы и джиттер

Опрос состояния кнопок и управление светодиодами – события относительно медленные, измеряющиеся десятками и сотнями миллисекунд. Иногда встречаются намного более высокоскоростные сигналы. Напри-

мер, пульт от телевизора излучает инфракрасные световые импульсы со скоростью 40 тыс. раз в секунду. Несмотря на то, что основной процессор RPi работает на частоте 1 ГГц, работа подсистемы ввода/вывода с такой скоростью не поддерживается по ряду причин, как аппаратных, так и программных. Мы рассмотрим некоторые программные аспекты, касающиеся темы статьи.

RPi работает под управлением многозадачной операционной системы (ОС) Linux. Система может превентивно забирать контроль над вашей программой для выполнения других задач. Все это происходит довольно быстро, так что кажется, будто мышка по-прежнему работает во время выполнения вашей программы, но на самом деле вашей программе и коду драйвера мыши ОС предоставляет лишь короткие промежутки времени.

Обычно это не имеет значения, но когда вам нужна обработка коротких или высокоточных событий, это может стать проблемой, проявляющейся (например) в виде джиттера.

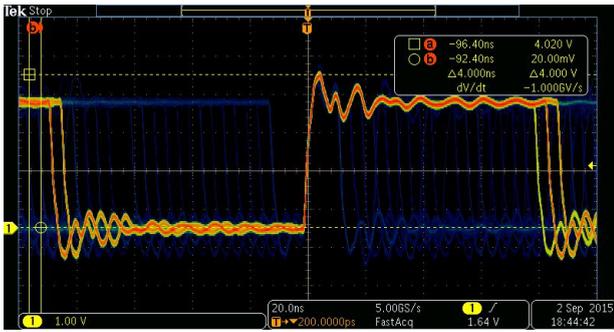
Кроме того, немаловажное значение имеет выбор языка программирования, поскольку некоторые библиотеки подходят лучше, чем другие. Интерпретированные и компилированные коды могут выполняться с разными скоростями. Короче говоря, если требуется очень точная временная привязка событий, возможно, придется написать драйвер Linux или использовать внешнее оборудование (например, другой микроконтроллер или логические схемы и генератор).

Одним из хороших вопросов, важных для более полного использования возможностей RPi, является то, насколько быстро можно изменять логические состояния выходов GPIO с помощью библиотек Python, Си и описанного выше командного скрипта.

Чтобы узнать это, был написан код для периодического переключения логического состояния выходного порта, к которому был

**Таблица 1.** Максимальная частота переключения выходов при использовании различных языков программирования

Язык программирования	Частота	Длительность	
		Высокого уровня	Низкого уровня
Python	71.2 кГц	3.9 мкс	10.1 мкс
Си	5.8 МГц	85 нс	85 нс
Командный скрипт	3.9 кГц	115 мкс	139 мкс



**Рисунок 17.** Следствием использования ОС Linux становится джиттер выходного сигнала.

подключен осциллограф. Результат представлен в Таблице 1.

Однако всегда важно помнить о джиттере, которым обязательно сопровождается работа ОС Linux. Для случая простого переключения светодиода это, конечно же, не проблема. Характер джиттера можно увидеть на осциллографе в режиме наложения нескольких каналов при синхронизации общим сигналом (Рисунок 17). Обратите внимание, что джиттер может принимать множество значе-

ний, несмотря на то, что сигналы дискретно разнесены на 4 нс (250 МГц), что связано с аппаратными особенностями RPi.

## Заключение

Теперь вы увидели, что 40-контактный разъем GPIO на платах RPi может использоваться для различных проектов – от управления светодиодами до электронных схем для измерения аналоговых величин. С небольшими дополнительными схемами адаптации логических уровней RPi может взаимодействовать 5-вольтовыми устройствами. С помощью Python очень легко управлять выходами, так же как не представляет сложности и чтение состояния входов, а библиотека `wiringpi` значительно упрощает управление программистам, использующим Си. [РЛ](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices AD654](#)
2. [Datasheet Diodes ZVN2110A](#)
3. [Datasheet Diodes VN10LP](#)

## Загрузки

[Исходные коды примеров программ ко второй части статьи](#)



# настоящее немецкое качество

**Testboy**  
GmbH, Germany

контрольно-  
измерительное  
оборудование

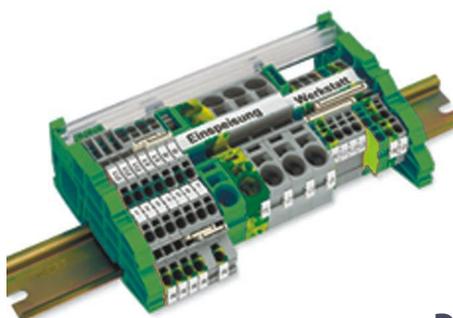


»»» **JOKARI**<sup>®</sup>  
original

инструмент для  
разделки кабеля  
и снятия изоляции



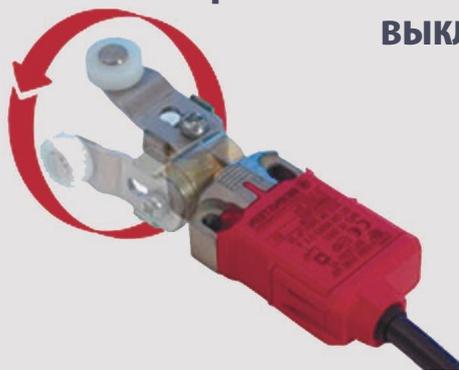
**WAGO**<sup>®</sup>  
INNOVATIVE CONNECTIONS



клеммы  
на DIN рейку  
и для печатных плат

**BERNSTEIN**  
safe solutions

промышленные корпуса  
выключатели  
датчики



**ДЕЦИМА**

ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ**

**WWW.DECIMA.RU**

МОСКВА, ЗЕЛЕНОГРАД, +7(495) 988-4858



# Цифровая паяльная станция на ATtiny13



Бабанин В., Красноярский край

В свое время на AliExpress мое внимание привлек паяльник, похожий на фирменный Hakko, но по смешной цене. Не вдаваясь в описание конструкции паяльника, отметим лишь один существенный момент. Температурным датчиком является термопара, а не терморезистор, что видимо и определяет его цену. Паяльник оказался надежным, вполне пригодным для работы (при замене жала на медное) и заслужил себе соответствующую электронику, описание которой приводится ниже.

В [1] описан модуль светодиодного индикатора с двухпроводным интерфейсом, называемый автором DDI. Применение этого модуля, как основы паяльной станции (ПС), позволило сделать несложный прибор, обладаю-

щий, тем не менее, всеми необходимыми возможностями. Рабочий диапазон температур паяльника установлен от 140 °С до 380 °С и может быть легко изменен значениями констант  $T_{min}/T_{max}$  в программе. Регулировка – кнопками уставки «больше/меньше». Третья кнопка переключает режимы дисплея. В режиме «RealT» (горит большая «С» в правой позиции) индикатор отображает реальную температуру нагревателя, в режиме «Tsetp» (малая «с») – значение уставки. Четвертая кнопка включает/выключает нагреватель паяльника, что удобно, когда паяльная станция подключается к общему источнику питания. Выход на рабочую температуру занимает около двух минут. Форсированный нагрев не

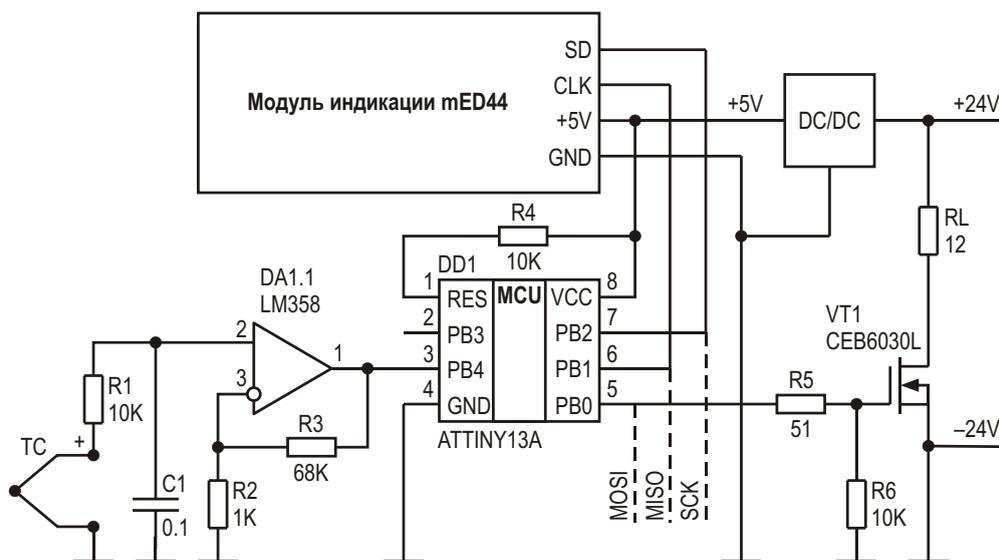


Рисунок 1. Принципиальная схема паяльной станции.

применяется из соображений надежности, так как он доводит температуру нагревателя до 500 °С, не сокращая существенно время разогрева жала до рабочей температуры.

Схема паяльной станции (Рисунок 1) содержит в своем составе усилитель сигнала терморезистора на ОУ, микроконтроллер, силовой ключ на мощном полевом транзисторе (ПТ), индикаторный модуль mED44 [1, 2] и понижающий стабилизатор на 24/5 В, в качестве которого рекомендуется доступный и недорогой модуль под названием «Mini-360 DC-DC Buck Converter» [3]. Можно применить известный 7805 с учетом рассеиваемой мощности 1 Вт. Коэффициент преобразования сигнала терморезистора регулируется константой (*Coef*) в программе и делает ненужными какие-либо элементы настройки в схеме. Увеличивая значение константы уменьшаем коэффициент преобразования и поддерживаемая температура снижается. Выходное напряжение ОУ, при максимальной температуре нагревателя, не должно быть более 2.5...3 В. Тип ПТ указан для примера, годится любой с напряжением не менее 30 В и током от 4 А.

Алгоритм работы самый простой. Один раз в секунду измеряется температура нагревателя и принимается решение о включении/отключении силового ключа в цепи паяльника. Он позволяет поддерживать температуру жала в пределах 1...2 градусов от установленной. Применять более сложные алгоритмы, использовать ШИМ, автор считает ненужным, поскольку не нашел в них преимуществ в данном случае. Нажатие кнопки ON/OFF на включенном приборе переводит его в режим индикации температуры нагревателя и запирает ПТ, при достижении порога *T<sub>min</sub>* на индикаторе высвечивается "----". Повторное нажатие включает нагреватель паяльника, и прибор работает в режиме индикации уставки, которую сохраняет в энергонезависимой памяти. Программа написана на языке ассемблера, снабжена комментариями и имеет достаточный запас памяти на модернизацию.

Индикатор mED44 перевернут на 180 градусов, десятичные точки оказываются сверх-

у, напоминая «°С». Питается паяльная станция через модуль повышающего преобразователя от шины 12 В компьютерного блока питания. Найти эти модули можно по именам XL6009, XL6019.

Остается добавить, что ЖК индикаторы, описанные в вышеупомянутой публикации, будут работать в этой схеме при условии замены «драйвера» в программном коде. Более того, возможно подключение символьных ЖКИ типа 1602, хотя нужда в этом неочевидна. На снимке макета (Рисунок 2) не показан ПТ, который смонтирован вместе с модулем XL6009 в блоке питания. Макет питается напрямую от блока питания. Светящаяся точка индицирует режим нагрева паяльника. **РЛ**

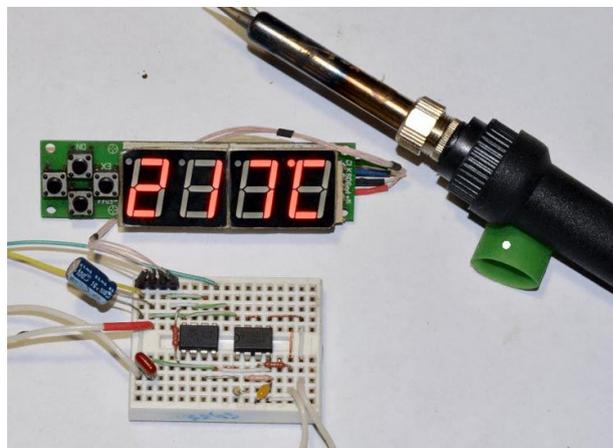


Рисунок 2. Макет паяльной станции.

## Ссылки

1. [Простые двухпроводные интерфейсы микроконтроллерных устройств](#)
2. [Светодиодные индикаторы микроконтроллеров](#)
3. [Mini-360 DC-DC Buck Converter](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Atmel ATtiny13](#)
2. [Datasheet CET CEB6030L](#)
3. [Datasheet Texas Instruments LM358](#)
4. [Datasheet XLSEMI XL6009](#)
5. [Datasheet XLSEMI XL6019](#)

## Загрузки

[Исходный код и hex-файл](#)



# Преобразователь периодических сигналов в прямоугольные импульсы

Ron Mancini

EDN

Преобразователи периодических сигналов в последовательность прямоугольных импульсов являются неотъемлемой частью схем выделения синхросигнала из потока данных, генераторов сигналов и формирователей тактовых импульсов. Любая схема преобразования в прямоугольные импульсы станет более полезной, если получит возможность управления коэффициентом заполнения. Схема, обладающая таким свойством и способная управлять несколькими ТТЛ-нагрузками, показана на Рисунке 1. Конденсатор  $C_{IN}$  связывает входной сигнал с точкой фиксированного потенциала, уровень которого задается соотношением сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (при  $R_1 = R_2$  этот уровень равен  $V_{CC}/2$ , где  $V_{CC}$  – напряжение питания схемы). Таким образом, периодический

сигнал на входе неинвертирующего компаратора изменяется вокруг уровня  $V_{CC}/2$ . Сопротивление параллельных резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (обозначенное как  $R_P$ ) и конденсатор  $C_{IN}$  образуют фильтр верхних частот, частот среза которого по уровню  $-3$  дБ равна

$$\frac{1}{2 R_P C_{IN}}$$

Для низкочастотных приложений частоту среза можно уменьшить, увеличив  $R_P$  или  $C_{IN}$ . Если накладываемые на сигнал высокочастотные шумы вызывают проблемы, подключите дополнительный конденсатор параллельно резистору  $R_2$ ; образовавшийся фильтр нижних частот будет подавлять эти

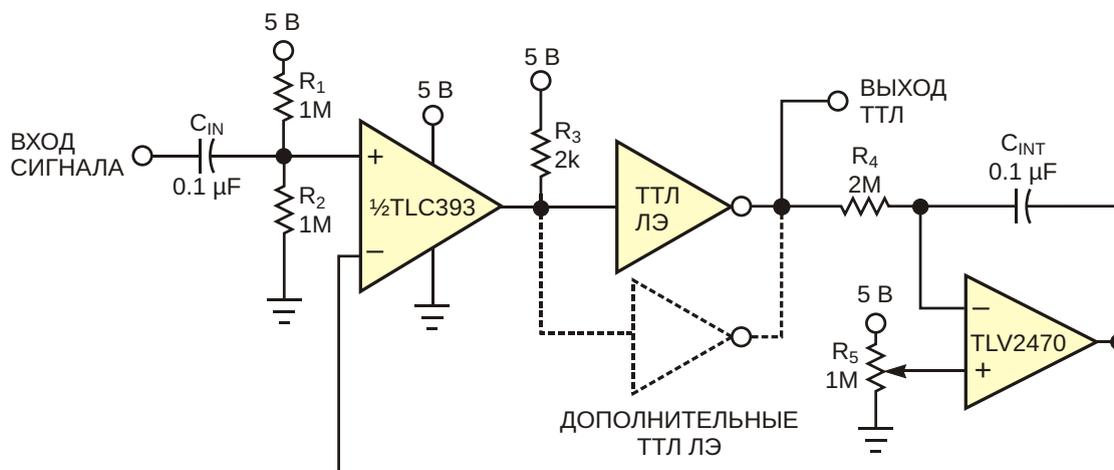


Рисунок 1. С помощью этой простой схемы вы можете получить прямоугольные импульсы с коэффициентом заполнения от 2% до 98%.

шумы. Если входной сигнал имеет прямоугольную форму, добавленный конденсатор будет интегрировать прямоугольные импульсы, увеличивая длительности их фронтов. При увеличении времени нарастания и спада диапазон регулирования схемы расширяется.

При симметричных входных сигналах установка напряжения в точке соединения  $R_1$  и  $R_2$  равным  $V_{CC}/2$  обеспечивает максимальный диапазон перестройки ширины и коэффициента заполнения импульсов. Асимметричные входные сигналы требуют другого уровня постоянного напряжения, поскольку времена, в течение которых сигнал находится в положительной и отрицательной зонах (относительно  $V_{CC}/2$ ) не одинаковы. Сопротивление эквивалентного резистора  $R_p$  не должно быть очень большим, чтобы входной ток компаратора не сильно увеличивал напряжение смещения микросхемы. В схеме использован компаратор TLC393 – КМОП версия ставшей отраслевым стандартом микросхемы LM393. Компаратор сравнивает смещенный на постоянный уровень входной сигнал с опорным напряжением, приходящим с выхода интегратора TLV2470. Выходной сигнал компаратора имеет прямоугольную форму. Компаратор управляет логическим элементом (ЛЭ), или несколькими ЛЭ, если нагрузочной способности одного ЛЭ недостаточно. Сопротивление резистора  $R_3$  должно быть низким, чтобы не увеличивать время нарастания входного сигнала ЛЭ. Наименьшее значение сопротивления  $R_3$  ограничено допустимым выходным током компаратора.

TLV2470 интегрирует и инвертирует выходные прямоугольные импульсы, и в качестве опорного напряжения возвращает

их обратно на вход компаратора. Если напряжение на неинвертирующем входе интегратора равно  $V_{CC}/2$ , для того, чтобы их среднее значение равнялось  $V_{CC}/2$ , выходные прямоугольные импульсы должны быть симметричными. Коэффициент заполнения будет равен 50% при установке движка потенциометра  $R_5$  в среднее положение. При перемещении движка потенциометра  $R_5$  ближе к земле уровень прямоугольных импульсов основную часть периода будет низким, а при перемещении к  $V_{CC}$  – высоким. Полюс передаточной функции интегратора находится на частоте

$$f_p = \frac{1}{2 R_4 C_{INT}}$$

При номиналах компонентов, указанных на Рисунке 1, частота среза по уровню 0 дБ равна 0.8 Гц. Коэффициент усиления интегратора, равный единице на частоте 0.8 Гц, далее спадает со скоростью 20 дБ/декада, поэтому его малосигнальное усиление достаточно невелико, чтобы гарантировать отсутствие самовозбуждения схемы. Выбор частоты полюса интегратора является компромиссом между устойчивостью и временем отклика. Схема на Рисунке 1 не подвержена генерации или ложным переключениям ни при каких условиях. Воспринимая входные сигналы от 20 мВ, она формирует прямоугольные импульсы, коэффициент заполнения которых регулируется в диапазоне от 2% до 98%. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments TLC393](#)
2. [Datasheet Texas Instruments TLV2470](#)

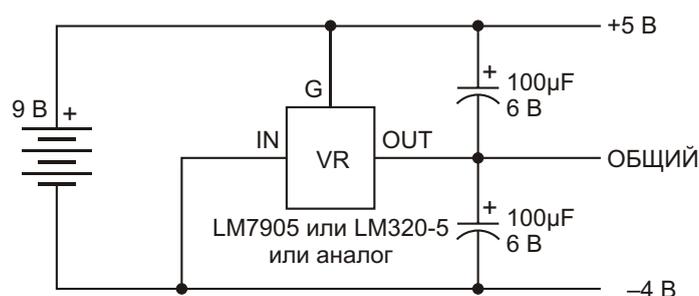
# Переверните регулятор отрицательного напряжения «вверх ногами», чтобы сделать биполярный источник питания

Stephen Woodward

EDN

Несмотря на постоянно расширяющийся ассортимент Rail-to-Rail операционных усилителей с однополярным питанием, всегда остается истинным тот факт, что единственным способом сконструировать выходной каскад, реально активный вплоть до нулевого напряжения, будет использование отрицательного источника питания. Эта суровая реальность может стать досадным осложнением в простых приложениях, например, в устройствах с батарейным питанием. В небольшой статье представлено минималистское (и немного хитрое) решение, использующее единственный «устаревший» стабилизатор напряжения, вполне приемлемое в тех случаях, когда симметрии выходных напряжений не требуется, и есть возможность смириться еще с несколькими специфическими ограничениями.

Как показано на Рисунке 1, «хитрость» заключается в использовании регулятора отрицательного напряжения для формирования напряжения положительной шины, взятого с положительной стороны источника питания. Хитрость работает, так как регулятор активно поддерживает запрограммированную разность напряжений (в данном случае 5 В) между выводами «G» и «OUT», в результате чего между выводами «ОБЩИЙ» и «+5 В» формируется стабилизированное положительное напряжение. В качестве бонуса разность между напряжением входного источника питания и стабилизированным выходным напряжением (в нашем примере 5 В – 9 В = –4 В) доступна для использования в качестве отрицательной шины, достаточной для поддержания при нулевом напряжении активных выходных каскадов или для решения каких-либо других вспомогательных задач.



**Рисунок 1.** Линейный стабилизатор отрицательного напряжения расщепляет входное напряжение батареи на напряжения положительной и отрицательной шины.

А есть ли какие-нибудь минусы? На самом деле есть. Их три.

1. Отрицательное напряжение нестабилизированное. Поэтому любая подключенная к нему нагрузка должна быть способна обеспечить требуемую точность, не взирая на возможные дрейф и пульсации напряжения питания. Благодаря отличным характеристикам подавления пульсаций питания у современных усилителей, обычно это не создает проблем. Но помнить об этом нужно.

2. Общее потребление от отрицательной шины не должно превышать тока положительной шины. Если положительная

нагрузка хотя бы не равна отрицательной, регулятор работать не будет.

3. Если любая из шин закорочена, на другой шине появляется все входное напряжение источника. Если закорочены обе шины, ограничить ток регулятор не сможет.

С учетом перечисленных ограничений, этот «поставленный с ног на голову» регулятор может стать простым решением многих типичных проблем. Я использовал эту схему на протяжении нескольких десятилетий. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments LM7905CT](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM320-N](#)

# Цепочка весовых конденсаторов позволяет сократить число линий интерфейса кодowego переключателя

Ajoy Raman

Electronic Design

*При использовании этой простой конденсаторной схемы и небольшой программы разработчикам, применяющим Arduino Uno, для считывания состояния шестнадцатеричного кодowego переключателя потребуются лишь два вывода*

**Ш**иротно-модулированный импульсный сигнал (ШИМ) и RC-цепочки на основе группы весовых конденсаторов, дополненные КМОП инвертором с триггером Шмитта, генерируют импульсы, ширина которых прямо пропорциональна номеру каждой из 16 выходных комбинаций кодowego переключателя. Для декодирования используется плата Arduino Uno, в которой задействуются лишь два контакта разъема (OC0A и INT0), а все остальные остаются свободными для выполнения других функций.

Теоретической основой предлагаемой схемы служит хорошо известная формула для напряжения на заряжающемся конденсаторе:

$$V_t = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}}).$$

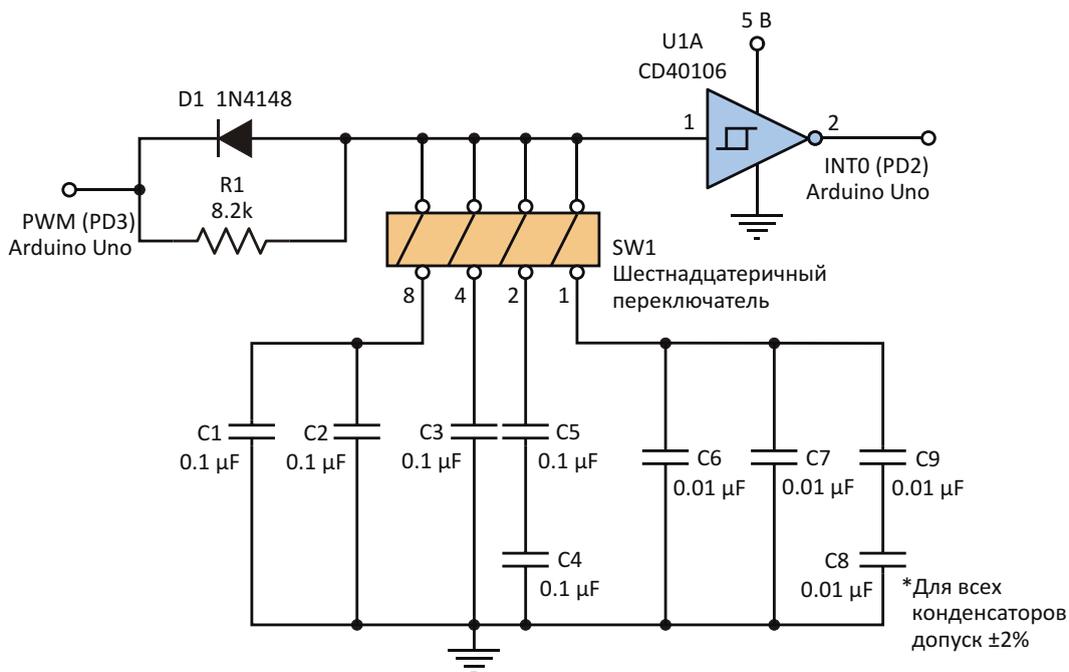
Время  $T$ , необходимое для достижения напряжения  $k \times V$ , можно найти с помощью формулы

$$T = RC \ln \frac{1}{1 - k},$$

указывающей на линейную зависимость от  $C$  при фиксированном сопротивлении  $R$ .

ШИМ выход OC0A (PD6) платы Arduino Uno формирует входной сигнал схемы (Рисунок 1), выход которой подключен к входу прерывания INT0 (PD2).

Конденсаторы с соотношением емкостей 8:4:2:1 выбираются переключателем SW1, и затем заряжаются через резистор R1 при высоком уровне сигнала ШИМ и разряжаются через диод D1 при низком уровне. В начале цикла заряда сигнал на выходе инвертора с

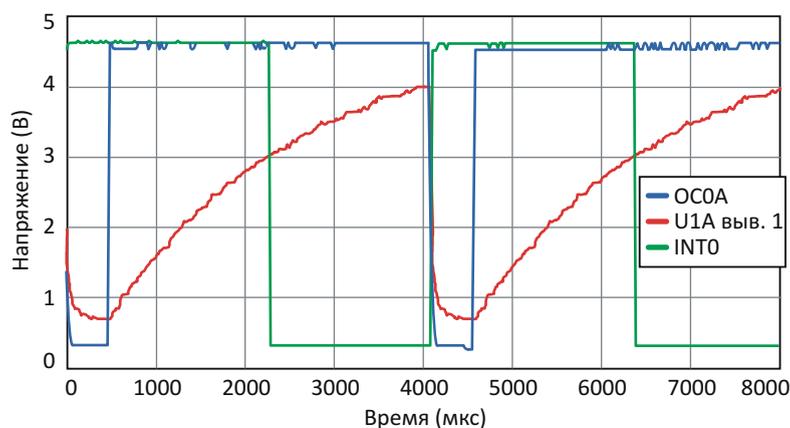


**Рисунок 1.** Функциональная схема состоит из шестнадцатеричного кодового переключателя, подключенного к набору весовых конденсаторов, зарядного резистора R1, разрядного диода D1 и инвертора с триггером Шмитта.

триггером Шмитта U1A имеет высокий уровень; он изменится на низкий, когда напряжение на конденсаторе достигнет верхнего порога переключения инвертора. Отрицательный фронт импульса используется для прерывания процессора.

Работающий на частоте 16 МГц микроконтроллер платы Arduino Uno запрограммирован таким образом, чтобы частота импульсов

на ШИМ выходе OC0A Таймера 0 равнялась 244 Гц при коэффициенте заполнения 224/255. Формы сигналов, когда в переключателе SW1 замкнут только ключ #8, показаны на Рисунке 2. Параллельные конденсаторы C1 и C2 заряжаются при высоком уровне сигнала на выходе OC0A, и, когда напряжение на них достигает порогового значения, равного примерно двум третьим напряжения пита-



**Рисунок 2.** ШИМ выход OC0A платы Arduino заряжает весовые конденсаторы, и когда напряжение на них достигает порогового значения триггера Шмитта, равного приблизительно 3 В, формируется сигнал прерывания INT0.



**Рисунок 3.** Состояния счетчика на момент прерываний при 16 положениях переключателя SW1 показывают хорошую линейность результата.

ния, состояние выхода инвертора с триггером Шмитта изменяется на противоположное. Этот отрицательный перепад используется для прерывания процессора, который затем считывает текущее значение Таймера 0.

Считая, что высокий уровень сигнала ОС0А равен напряжению питания, длительность формируемого импульса можно вычислить по формуле

$$T = RC \ln 3,$$

не зависящей от напряжения питания. Если значения R и C равны 8.2 кОм и 0.2 мкФ, то  $T = 1801$  мкс (при длительности периода 4096 мкс), и в момент прерывания Таймера 0 в его счетчике будет число 112. Значение, полученное экспериментально, равнялось 115.

В Таблице 1 показаны состояния Таймера 0 на моменты прерываний для 16 комбинаций переключателя SW1. Приведены значения для различных напряжений питания.

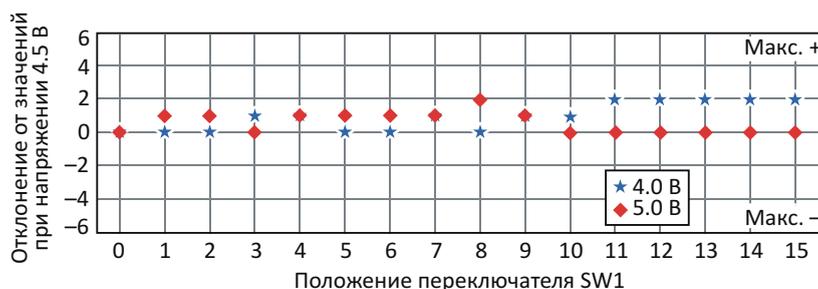
**Таблица 1.** Экспериментальные значения состояний Таймера 0 на моменты прерываний при различных положениях переключателя SW1

Положение SW1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VCC 4.5 В	0	15	31	45	60	73	88	102	115	129	143	157	171	184	199	212
VCC 4.0 В	0	15	31	44	59	73	88	101	115	128	142	155	169	182	197	210
VCC 5.0 В	0	14	30	44	58	72	87	100	113	127	142	155	169	182	197	210

Рисунок 3 показывает, что состояния счетчика, захваченные в моменты различных прерываний при 16 комбинациях SW1, довольно хорошо соответствуют линейной характеристике с примерной разностью значений 14 единиц. Положения переключателя декодируются программой, допускающей

максимальное отклонение  $\pm 6$  единиц от номинальных средних значений.

Как видно из Рисунка 4, благодаря тому, что высокий уровень сигнала ОС0А и верхний порог триггера Шмитта с изменением напряжения питания VCC меняются пропорционально, отклонения всех 16 значений



**Рисунок 4.** Отклонения захваченных значений счетчика Таймера 0, обусловленные изменениями напряжения питания, при всех 16 положениях переключателя SW1 находятся в допустимых пределах.



# Прецизионный передатчик/калибратор токовой петли с широким диапазоном напряжений питания

Shasta Thomas

Electronic Design

**А**налоговые токовые петли используются во многих приложениях в качестве физического канала измерений и управления приводами. Хотя измерительных диапазонов существует несколько, наиболее популярным до сих пор остается стандарт 4-20 мА.

Точность петли зависит от способности передатчика преобразовывать сигнал датчика в ток. Кроме того, она зависит от стабильности передаточной функции тока (измеренной со стороны приемника) в условиях изменений температуры, физической длины петли и напряжения питания петли, а также других неопределенностей, возникающих по мере старения оборудования.

Помимо линейности и стабильности передаточной функции по току, выход передатчика должен обеспечивать большой динамический импеданс, чтобы минимизировать влияние напряжения петли (на выводах передатчика) на выходной ток.

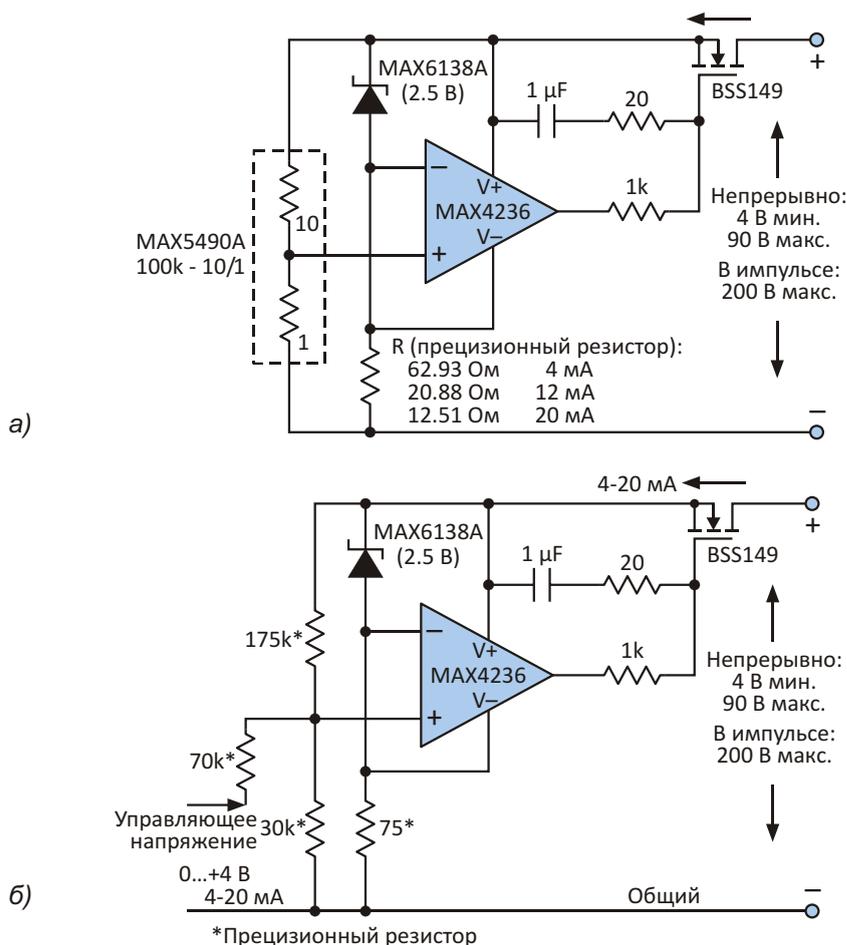
Имеет значение также максимально допустимое напряжение на зажимах передатчика. Чем оно больше, тем лучше, поскольку электромагнитная обстановка на промышленных предприятиях не всегда бывает благоприятной. В то же самое время, минимально допустимое напряжение на выводах передатчика, определяющее макси-

мальную длину петли при заданном сечении проводов (или минимальное сечение, необходимое для заданной длины), надо снижать, насколько возможно.

Этим критериям отвечает схема передатчика, изображенная на Рисунке 1. Она отличается очень высоким выходным импедансом (от 108 до 109 Ом) и широким диапазоном допустимых напряжений (от 4 В до 90 В). Нижний предел определяется минимальным рабочим напряжением усилителя, а верхний – допустимой мощностью рассеивания выходного устройства (n-канального MOSFET в режиме обеднения) на верхней границе диапазона выходных токов (20 мА). В течение коротких промежутков времени порядка 20 мс максимальное напряжение может достигать 200 В.

Первоначальная схема сконфигурирована как калибратор петли (Рисунок 1а). При показанных на схеме номиналах компонентов в диапазоне температур от 0 °С до 85 °С она имеет точность 10 бит с дополнительной неопределенностью, вносимой резистором R. Имея всего два вывода, эта схема может работать как калибратор и втекающего, и вытекающего тока.

Схему калибратора петли можно изменить таким образом, чтобы использовать ее



**Рисунок 1.** После внесения небольших изменений в схему питающегося от петли прецизионного источника втекающего и вытекающего тока (а) его можно использовать как передатчик токовой петли 4-20 мА (б).

как интерфейс между датчиком с диапазоном выходных напряжений 0...4 В и токовой петлей (Рисунок 1б). В этом случае точность передаточной функции зависит от источника опорного напряжения (MAX6138) и точности резисторов входной цепи. Поскольку опорный потенциал (земля) является общим и для измерителя, и для передатчика, при конструировании схемы следует проявлять осторожность, чтобы не создавать земляных петель.

Входные характеристики операционного усилителя MAX4236 (максимальное смещение 20 мкВ, температурный дрейф 2 мкВ/°С), его большой коэффициент усиления (110 дБ) и способность работать при входных сигналах с уровнями, начинающимися от напряжения отрицательной шины, делают влияние всех остальных компонентов несуществен-

ным. Поэтому для повышения точности необходимо использовать стандартные методы подстройки, основанные либо на механических, либо на цифровых потенциометрах.

Особое значение для точности схемы имеет диапазон синфазных входных сигналов усилителя, начинающийся от напряжения отрицательной шины питания, поскольку это позволяет направлять рабочий ток усилителя через выходной токоизмерительный резистор, где он становится частью выходного тока, управляемого схемой. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Maxim Integrated MAX4236](#)
2. [Datasheet Maxim Integrated MAX5490A](#)
3. [Datasheet Maxim Integrated MAX6138](#)
4. [Datasheet Infineon BSS149](#)

# КПД

## умножителя напряжения на коммутируемых конденсаторах достигает 95%

Marian Stofka

EDN

**К**онденсатор, заряжаемый через резистор, работает с КПД 50%, поэтому многие инженеры избегают использования DC/DC преобразователей на коммутируемых конденсаторах. Однако такое утверждение относительно КПД справедливо лишь в том случае, когда на конденсаторе нет начального напряжения. Если вы будете коммутировать предварительно заряженный конденсатор, то сможете переносить энергию на выход с КПД, приближающимся к 100%.

Чтобы получить на выходе четыре третьих от входного напряжения, можно заряжать три конденсатора до одной трети напряжения питания каждого, а затем прибавлять эту одну треть к входному напряжению. Для это нужно соединить последовательно три конденсатора равной емкости и зарядить образовавшуюся последовательную цепочку до напряжения, равного входному. Поскольку емкости одинаковы, каждый конденсатор зарядится до одной трети входного напряжения. Затем схема соединяет те же три конденсатора параллельно, добавляя их к входному напряжению, и подключает это увеличенное напряжение к выходу (Рисунок 1). Обе фазы схема повторяет периодически с частотой  $F$ .

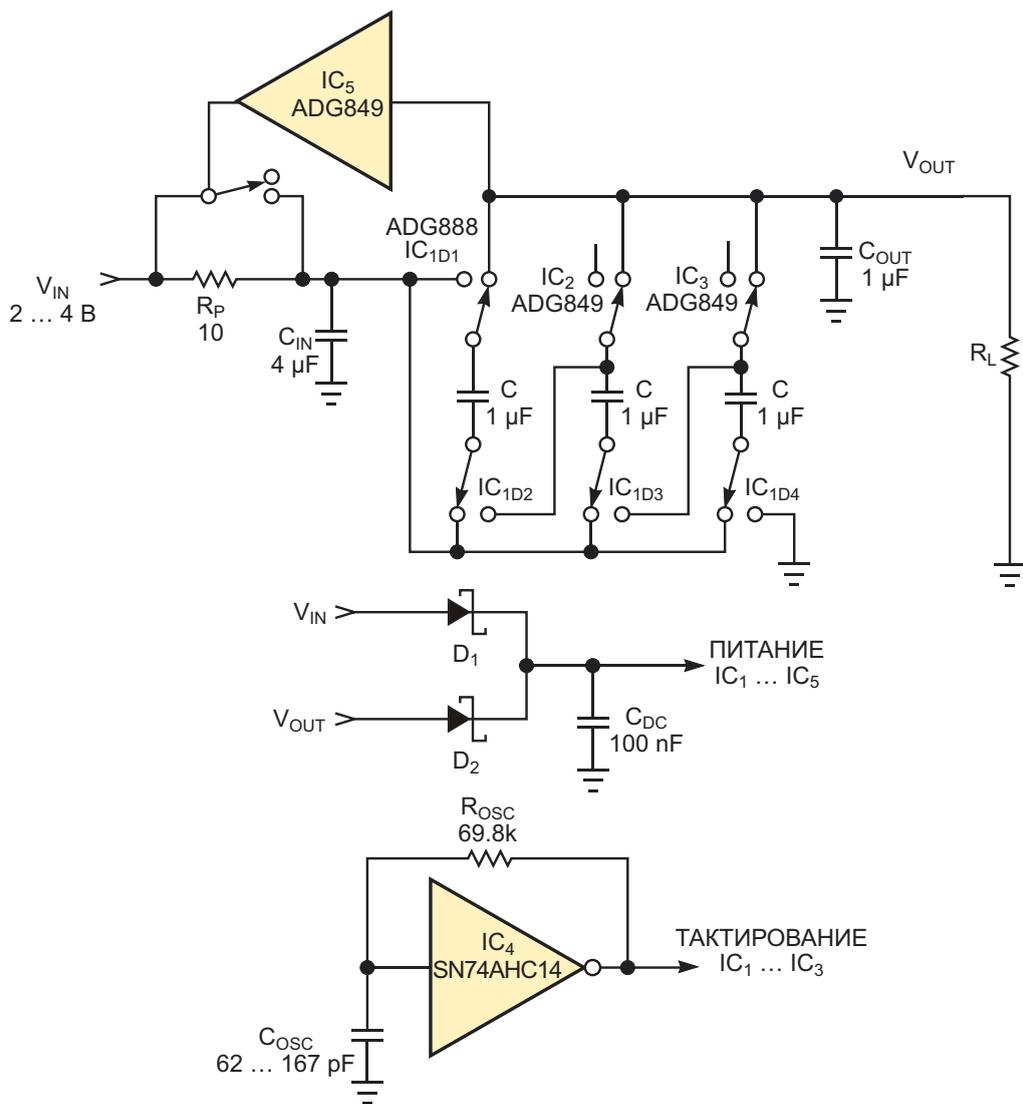
$C_{IN}$  и  $C_{OUT}$  – входной и выходной фильтрующие конденсаторы, соответственно.  $R_P$  – защитный резистор, ограничивающий бросок тока конденсаторов при включении схемы. Когда выходное напряжение увеличивается,

микросхема  $IC_5$  закрывается и закорачивает  $R_P$ . Диоды Шоттки  $D_1$  и  $D_2$  позволяют питать микросхему входным, то есть более высоким напряжением в то время, пока устанавливается выходное напряжение.  $C_{DC}$  служит для этой шины питания накопительным и развязывающим конденсатором. При более высоком напряжении питания снижаются сопротивления открытых аналоговых ключей. Благодаря низкому сопротивлению открытой микросхемы  $IC_1$ , равному 0.4 Ом, схема имеет малые потери и высокий КПД. Микросхемы  $IC_1$ ,  $IC_2$  и  $IC_3$  работают как перекидные контакты, то есть, разрывают цепь до включения, что для нашей схемы принципиально.

Для случая, когда коэффициент заполнения управляющих импульсов равен 50%, теоретическое значение КПД преобразователя можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \frac{C_{OUT}}{3C}} \frac{1}{12R_L C F}$$

Если емкость конденсатора  $C_{OUT}$  равна емкости  $C$ , потери мощности при заряде трех конденсаторов составляют примерно две третьих от потерь во время фазы разряда. Реальное значение КПД будет меньше рассчитанного по этой формуле за счет мощности, потребляемой схемой управления. Для



**Рисунок 1.** Эта схема зарядового насоса умножает напряжение в 1.33 раза. Ее можно использовать для преобразования 2.5 В в напряжение 3.3 В. Схеме не мешают среды с сильными магнитными полями, в которых работа преобразователей, основанных на индуктивности, могла бы нарушаться.

КМОП схем потребляемая мощность линейно увеличивается с рабочей частотой, поэтому, выбирая частоту переключения, вы можете оптимизировать КПД схемы. Оптимальная частота обратно пропорциональна сопротивлению нагрузки  $R_L$ . По счастью, эта зависимость в широком диапазоне нагрузок имеет плоский участок, где КПД превышает 90%. При нагрузке 120 Ом вы можете достичь КПД 94% в диапазоне частот от 100 кГц до 400 кГц. Если рабочую частоту вы установите равной 229 кГц, то КПД схемы при преобразовании

входного напряжения 2.2 В в напряжение 2.87 В составит 95.9%. При меньших нагрузках оптимальная частота смещается в область более низких частот. При нагрузке 269 Ом и частоте 100 кГц вы можете получить выходное напряжение 2.88 В. **PL**

### Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices ADG849](#)
2. [Datasheet Analog Devices ADG888](#)
3. [Datasheet Texas Instruments SN74AHC14](#)

# Две функции одной кнопки в простой микропроцессорной системе

Steve Hageman

EDN

В обычных конструкциях для включения питания и управления системными функциями используются отдельные переключатели, однако, добавив несколько компонентов в небольшое устройство, управляемое микроконтроллером, можно сделать так, чтобы

функции включения/выключения и выбора режимов работы выполнялись одной кнопкой.

Предположим, вы захотите сделать устройство, отображающее значения относительной влажности и температуры [1]. В этой небольшой системе с батарейным пита-

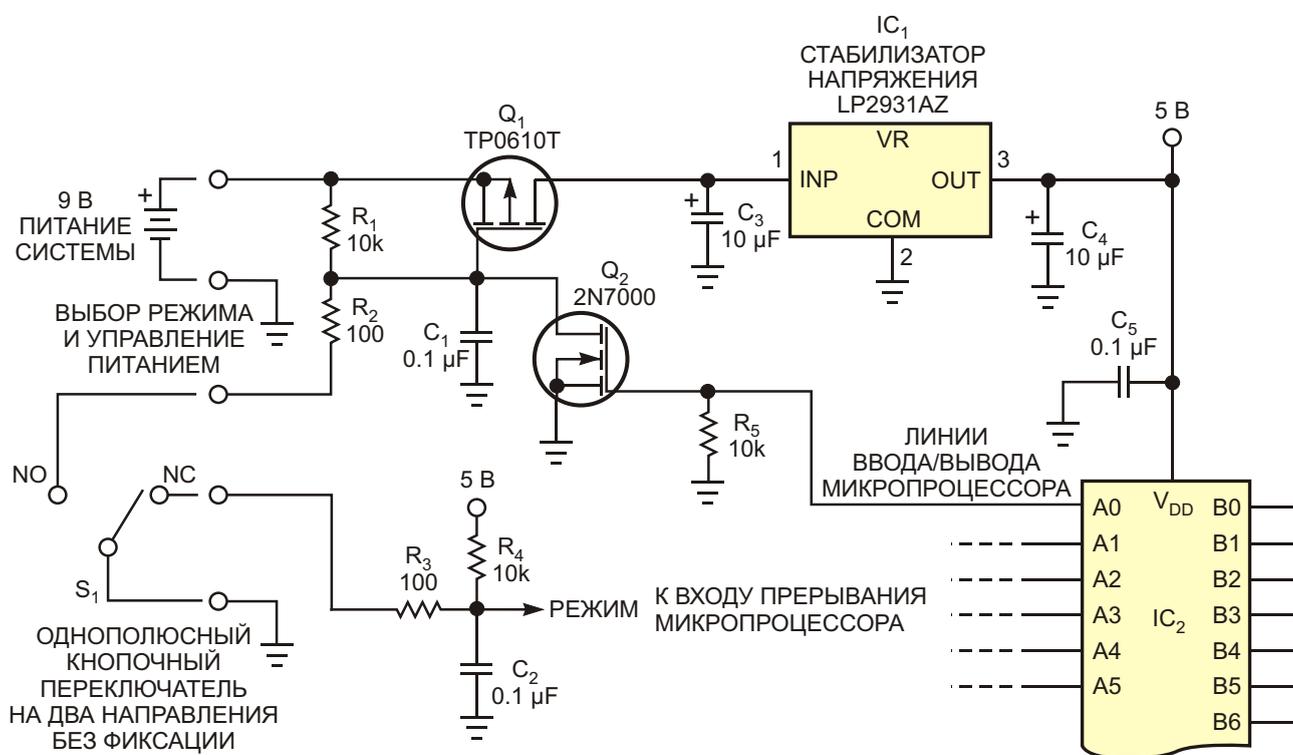


Рисунок 1. В простой микропроцессорной системе один кнопочный переключатель может использоваться для управления питанием и переключения режимов работы.

нием потребуются управляемый микропроцессором силовой ключ, для активации которого будет использоваться кнопка, и функциональный переключатель на основе тумблера для выбора между отображением результата измерений в градусах Цельсия или в градусах Фаренгейта. С точки зрения удобства использования и общей цены, эти две функции имеет смысл объединить в одном переключателе.

Такая схема показана на Рисунке 1. В исходном состоянии P-канальный MOSFET  $Q_1$  закрыт, так как резистор  $R_1$  поддерживает напряжение между его затвором и истоком равным нулю. Напряжение на регулятор  $IC_1$  не подается, поэтому системный микропроцессор  $IC_2$  также выключен. Когда оператор нажимает на кнопку  $S_1$ , имеющую пару нормально замкнутых контактов, через  $R_1$  и  $R_2$  в землю начинает проходить ток, появившееся напряжение база-эмиттер открывает транзистор  $Q_1$ , регулятор  $IC_1$  начинает стабилизировать напряжение, и микропроцессор, получив питание, включается. Конденсатор  $C_1$  подавляет дребезг контактов кнопки и гарантирует, что транзистор  $Q_1$ , независимо от продолжительности нажатия кнопки, будет оставаться открытым в течение времени, достаточного для запуска микропроцессора. Последней функцией стартовой подпрограммы микропроцессора является инициализация

ЖК-индикатора, побуждающая оператора не отпускать кнопку до полного завершения процедуры запуска.

Сразу же после подачи питания на микропроцессор начинается выполнение программы, на затвор  $Q_2$  подается «лог. 1» с уровнем выше 3 В, и MOSFET  $Q_2$  открывается. Соответственно, включается транзистор  $Q_1$ , и система начинает работать под управлением программы. Если оператор нажмет кнопку вновь, транзистор  $Q_1$  останется открытым, выполнение программы продолжится, а на линии управления режимом, подключенной к входу прерывания микропроцессора, будет высокий логический уровень. Программа может использовать прерывание для переключения режимов или для прокрутки многопозиционного меню. По истечении необходимого запрограммированного интервала времени микропроцессорное устройство выключает себя, подав «лог. 0» на затвор  $Q_2$ . Транзистор  $Q_1$  закрывается, и питание системы прекращается. **РЛ**

## Ссылки

1. Hageman, Steve, "[Relative humidity/temperature meter](#)"

## Материалы по теме

1. [Datasheet Vishay TP0610](#)

# Удвоение частоты и разрешения ШИМ микроконтроллеров

Alperen Akkuncu

EDN

Многие из вас знают о возможности реализации на микроконтроллере (МК) цифро-аналогового преобразования на основе ШИМ сигнала. Это достаточно распространенный и самый дешевый метод, применимый во многих простых приложениях.

Подход заключается в использовании фильтра низких частот (ФНЧ), исключающего из ШИМ сигнала высокочастотные составляющие и выделяющего низкочастотную или постоянную составляющую, пропорциональную коэффициенту заполнения ШИМ. Однако ФНЧ не может полностью отфильтровать частоту ШИМ, и именно по этой причине выделяемая низкочастотная/постоянная составляющая будет содержать некоторые пульсации.

Существует два способа уменьшения пульсации ШИМ ЦАП. Можно понизить частоту среза ФНЧ или увеличить частоту ШИМ

сигнала. Разумеется, понижение частоты среза ФНЧ приводит к увеличению времени нарастания (времени установления), а более высокая частота ШИМ сигнала, которая достигается уменьшением размерности счетчика при заданной тактовой частоте, приводит к ухудшению разрешения.

Я хочу поделиться интересной идеей, позволяющей снизить пульсации ШИМ ЦАП без использования описанных выше методов.

Оказывается, мы можем снизить пульсации ШИМ ЦАП, используя два сигнала ШИМ со сдвигом фаз  $180^\circ$  (Рисунок 1). Интуитивно понятно, что при разности фаз  $180^\circ$  между двумя синусоидальными сигналами одинаковой частоты эти сигналы компенсируют друг друга, поэтому мы могли бы ожидать, что гармоники двух ШИМ сигналов с фазовым сдвигом  $180^\circ$  будут взаимно подавлены. И это

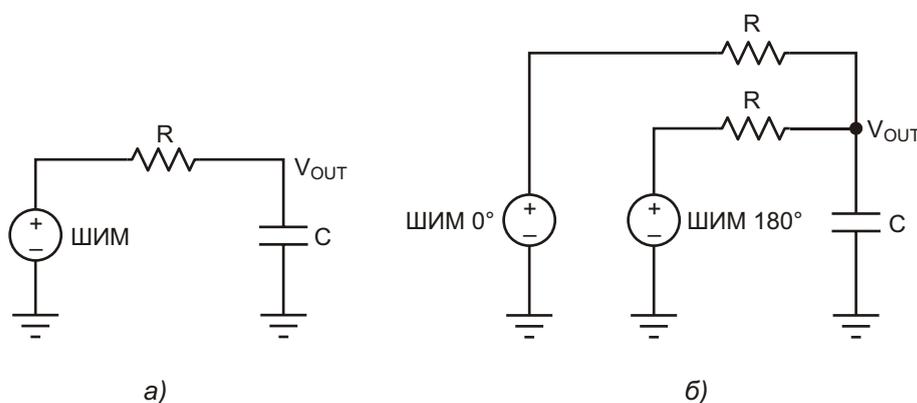


Рисунок 1. Схема классического ШИМ ЦАП (а) и удвоенного ШИМ ЦАП с фазовым сдвигом (б).

$R = 20 \text{ кОм}, C = 2 \text{ нФ}$  $R = 51 \text{ кОм}, C = 2 \text{ нФ}$  $R = 300 \text{ кОм}, C = \text{нФ}$ 

**Рисунок 2.** Верхние осциллограммы – обычный ШИМ. Нижние осциллограммы – сигнал сдвоенного ШИМ со смещением фазы. Чувствительность (В/дел) уменьшается слева направо: 100 мВ, 50 мВ, 5 мВ.

действительно так, однако, не для всех гармоник ШИМ сигналов. Одни гармоники подавляются, а другие – нет. Это связано с рядами Фурье и немного выходит за уровень сложности данной статьи, поэтому вдаваться в математические подробности мы не будем.

Как реализовать фазовый сдвиг 180° между двумя ШИМ сигналами? Для примера мы использовали микроконтроллер Texas Instruments MSP430FR5969 на отладочной плате серии LaunchPad, но в целом подход носит общий характер. Для генерации двух сигналов ШИМ с фазовым сдвигом в МК потребуются два таймера. Один из них должен иметь два модуля Захвата-Сравнения-ШИМ (Compare-Capture-PWM – CCP), а у второго должен быть один такой модуль.

В таймере, имеющем два модуля CCP, один из модулей используется для установки частоты ШИМ и коэффициента заполнения, а другой – для генерации сигнала прерывания, который запустит второй таймер с задержкой, равной половине периода ШИМ. Модуль CCP во втором таймере используется для генерации второго ШИМ сигнала с теми же значениями частоты и коэффициента заполнения. Кроме того, потребуется «очень точно» настроить задержку, ввиду того, что выполнение программы будет вносить дополнительный временной сдвиг между генерируемыми сигналами ШИМ. Нап-

пример, в строке 102 исходного кода (см. проект в секции загрузок) автор изменил значение регистра сравнения с

$$(timer\_period+1)/2$$

на

$$(timer\_period+1)/2-27.$$

У микроконтроллеров других производителей также есть аналогичные аппаратные блоки, пригодные для реализации описываемого метода. Многие МК Atmel (Microchip) имеют более одного таймера, и обычно в каждом из них есть два модуля CCP (например, ATmega328). Еще один пример – МК STM32F051R8, установленный на некоторых популярных отладочных платах STMicroelectronics, – содержит 11 таймеров, многие из которых имеют более одного модуля CCP. Микроконтроллеры ARM компании Texas Instruments обычно имеют отдельные модули ШИМ и таймеров (например, TM4C123GH6PM), поэтому на них реализовать фазовый сдвиг несколько проще. Два модуля ШИМ можно запускать от одного таймера с задержкой, равной половине периода ШИМ.

В точке  $V_{OUT}$  (Рисунок 1) сдвоенного ШИМ ЦАП два сигнала ШИМ суммируются, и некоторые гармоники компенсируют друг друга, в результате чего уровень выходных пульсаций снижается.

Рассмотрим три варианта, различающихся сопротивлениями резисторов (Рисунок 2). Во всех случаях используется сигнал ШИМ с частотой 100 кГц и коэффициентом заполнения 25%.

Глядя на результаты, мы видим две вещи. Во-первых, полный размах пульсаций снизился. Во-вторых, основная частота пульсаций для классического ШИМ ЦАП равна частоте сигнала ШИМ (100 кГц). Основная же частота пульсаций для удвоенного ШИМ ЦАП с фазовым сдвигом равна второй гармонике сигнала ШИМ (200 кГц), а это означает, что первую гармонику мы успешно подавили.

Как уже отмечалось, одним из преимуществ этого метода является снижение амплитуды пульсаций без увеличения време-

ни нарастания сигнала (или такие же пульсации при вдвое меньшем времени нарастания).

Другим потенциальным преимуществом является возможность удвоения эффективного разрешения ЦАП путем сдвига уставок двух ШИМ на одну единицу, чтобы получить промежуточное значение. Следствием станет появление небольшой асимметрии и повышение пульсаций, но влияние этого эффекта будет пренебрежимо мало. **РЛ**

## Дополнительные материалы

1. [Увеличение быстродействия ЦАП с широтно-импульсной модуляцией](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments MSP430FR5969](#)

## Загрузки

[Исходный код для микроконтроллера MSP430](#)





# РАДИОЛОЦМАН

Журнал для тех, кто интересуется электроникой

Если Вам  
небезразличны темы:

- ▶ микроконтроллеры
- ▶ автоматизация
- ▶ силовая электроника
- ▶ светотехника
- ▶ САПР
- ▶ измерения

или Вы являетесь носителем  
передовых знаний в других  
областях электроники и готовы их  
популяризировать -

**приглашаем к сотрудничеству!**

# 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.