



Журнал для тех, кто интересуется электроникой

# РАДИОЛОЦМАН

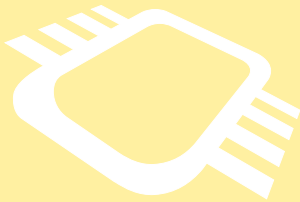
Апрель 2015 (47)

20 Новый вид модуляции  
может стать частью 5G

29 Два новых устройства  
позволят изменить подход  
к конструированию  
генераторов сигналов

50 Эта непостоянная  
постоянная составляющая:  
что делать?

66 Входные аналоговые интерфейсы  
высокопроизводительных  
конвейерных АЦП



## 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)

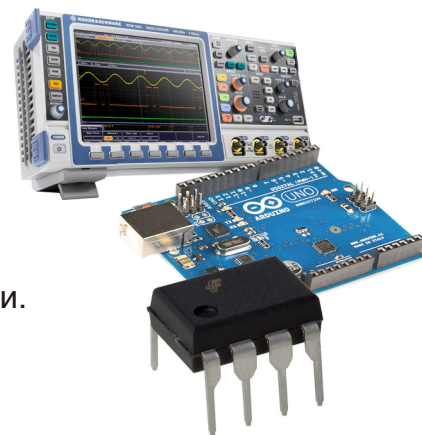


[google.com/+RlocmanRuPlus](http://google.com/+RlocmanRuPlus)

И еще многое другое на портале:

## РАДИОЛОЦМАН. ...

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



## Главный редактор:

А. Николаев

## Над номером работали:

А. Грицаенко  
В. Колесник  
С. Муратчаев  
А. Николаев  
Н. Радунцева  
М. Русских

## Обложка:

А. Кравчук

## Директор:

С. Муратчаев

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

[rlocman@rlocman.ru](mailto:rlocman@rlocman.ru)

+7 (495) 721-72-14

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

## Новости

- 4 Silego Technology расширяет функциональность и повышает точность конфигурируемых CMIC GPAK4
- 5 Power Integrations выпускает самые быстрые в мире 150-вольтовые кремниевые силовые диоды
- 5 Texas Instruments представляет первый в отрасли 18-вольтовый многоканальный синхронный понижающий преобразователь с интерфейсом PMBus
- 6 Supress представила образцы второго поколения контроллеров USB Type-C в сверхминиатюрных корпусах, встраиваемых в кабели и кабельные адаптеры USB 3.1
- 8 Bosch изготовила 5-миллиардный МЭМС-датчик
- 9 Новый компаратор фирмы Diodes продлит время автономной работы устройств с батарейным питанием
- 10 Mitsubishi Electric разрабатывает прототип активной фазированной антенной решетки для мобильных сетей 5G
- 11 Micrel создала новые конфигурируемые многоканальные микросхемы управления питанием для потребительских и промышленных приложений
- 12 Новейшие магнитные датчики положения компании ams обеспечивают беспрецедентную точность на высоких скоростях во всем диапазоне рабочих температур
- 13 ZMDI разработала истинно цифровой контроллер ШИМ для источников питания сетевых, коммуникационных и промышленных приложений
- 14 ams начинает производство сверхминиатюрных схем управления питанием для носимых устройств
- 16 IDT представляет семейство LVCMOS буферов распределения тактовых сигналов с ультранизким джиттером
- 17 Seiko предлагает новый LDO стабилизатор для автомобильных систем
- 18 Исследователи изобрели светоизлучающие волокна для уюмопомрачительной одежды
- 19 SEPSCO создала систему светодиодного уличного освещения морской базы в Калифорнии, работающей на солнечной энергии
- 20 Новый вид модуляции может стать частью 5G
- 21 LAPIS разработала новую БИС мониторинга многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей
- 22 Micrel выпускает лучшие в своем классе приемники диапазона 400...450 МГц
- 23 Transphorm анонсирует первые в отрасли 600-вольтовые GaN транзисторы в корпусе TO-247
- 24 Vishay Intertechnology выпускает миниатюрный защитный диод со сверхнизкой емкостью для устройств портативной электроники
- 25 Mitsubishi Electric расширяет линейку силовых модулей тремя приборами с встроенными SJ-MOSFET
- 25 Новые синхронные понижающие преобразователи Micrel остаются холодными при максимальном выходном токе
- 26 Seoul Semiconductor сообщает о доступности новых светодиодных модулей Acrich3

## Статьи

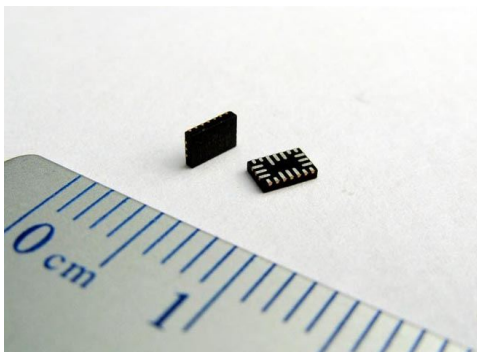
- 29 Два новых устройства позволяют изменить подход к конструированию генераторов сигналов
- 37 АЕЕ – новая технология повышения КПД понижающих преобразователей при малых выходных напряжениях
- 40 Эволюция и продукты компании Analog Devices. Вклад Ричарда Бурвена, модульные ОУ и интегральные усилители. Часть 2
- 46 Intel, Microsoft и Autodesk создают новую жизнь
- 48 ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ. 1 апреля 1976 года была создана компания Apple

## Схемы

- 50 Эта непостоянная постоянная составляющая: что делать?
- 54 Как избежать ограничения сигнала в эмиттерном повторителе с емкостной развязкой нагрузки
- 58 Малошумящий высоковольтный инвертирующий преобразователь с накачкой заряда
- 62 Сдвоенный модуль регулятора напряжения с цифровым интерфейсом и выходными токами 13 А
- 66 Входные аналоговые интерфейсы высокопроизводительных конвейерных АЦП
- 70 Изолированная схема контроля напряжения сети переменного тока
- 72 Переключатель нагрузки с самовозвращающимся размыкателем цепи

## Silego Technology расширяет функциональность и повышает точность конфигурируемых CMIC GPAK4

Silego Technology анонсировала новое семейство матричных микросхем смешанных сигналов GreenPAK (GPAK) четвертого поколения. Приборы GPAK4 укрепляют лидирующие позиции Silego в отрасли конфигурируемых микросхем смешанных сигналов (Configurable Mixed-signal ICs – CMIC).



Семейство программируемых CMIC GPAK4 с энергонезависимой памятью дает разработчикам инновационных проектов возможность интеграции множества функциональных системных блоков, таких, как компараторы, АЦП, логические элементы, устройства задержки, счетчики, схемы управления сбросом, секвенсоры питания, датчики напряжения и интерфейсы, с тем, чтобы минимизировать количество компонентов, площадь печатной платы и потребление энергии.

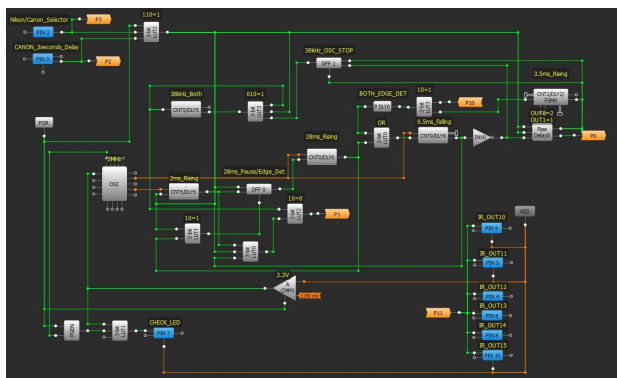


Схема в окне GreenPAK4 Designer.

SLG46620V – первый прибор четвертого поколения продуктов GPAK, в который включены все лучшие аналоговые и цифровые элементы из предыдущих поколений, но с

расширенной функциональностью и повышенной точностью. По сравнению с компонентами предыдущего поколения SLG46620V обладает практически удвоенными ресурсами кристалла. В устройство впервые добавлен ряд новых функций, таких, например, как аппаратный сброс и ЦАП. Микросхема выпускается в 20-выводном корпусе STQFN размером 2.0 3.0 0.55 мм.



Комплект разработчика GreenPAK4.

Так же, как и остальные устройства семейства GPAK, SLG46620V поддерживается простой в использовании платформой разработки и удобным графическим интерфейсом пользователя GPAK Designer, позволяющими инженерам легко и быстро создавать новые конструкции и гибко реагировать на необходимость внесения в них каких-либо изменений.

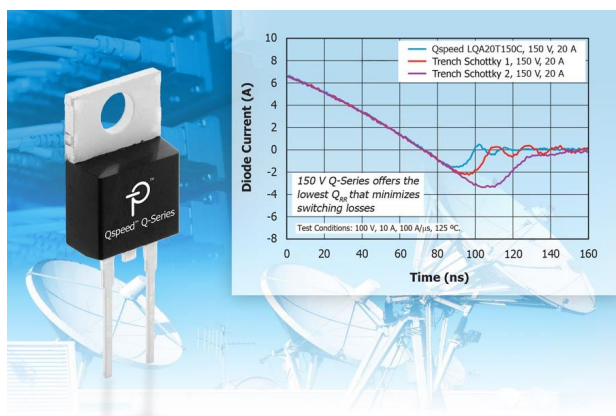
### Области применения

- Потребительская электроника:
  - Портативные устройства: планшеты, смартфоны, ноутбуки
  - ПК и периферийные устройства
  - Носимые устройства
- Коммерческая и промышленная электроника:
  - Серверы
  - Встраиваемые компьютеры
  - Оборудование дата-центров

## Power Integrations выпускает самые быстрые в мире 150-вольтовые кремниевые силовые диоды

*Предназначены для высокоэффективных, высокоскоростных приложений с низким уровнем электромагнитных излучений*

Компания Power Integrations анонсировала новое семейство 150-вольтовых диодов Qspeed. Являясь самыми быстродействующими кремниевыми диодами в мире, приборы серии Qspeed LQA150 одновременно отличаются исключительно мягкими характеристиками переключения и, соответственно, очень небольшим уровнем электромагнитных излучений. Основанные на фирменной технологии Qspeed merged-PIN, диоды имеют самые низкие на сегодняшнем рынке емкость перехода и заряд обратного восста-



новления – на 60% и 40% меньше, чем у диодов Шоттки с канавочной структурой.

Этот уникальный баланс характеристик облегчает режим функционирования диодов, что дает возможность, сохраняя максимальную эффективность, использовать небольшие и недорогие магнитные компоненты. Низкий уровень создаваемых диодами электромагнитных помех позволяет уменьшить емкость демпфирующих конденсаторов или вообще отказаться от них, что, в свою очередь, улучшает КПД и снижает общую стоимость конечного продукта.

В настоящее время доступны диоды с рабочими токами от 10 до 40 А в конфигурации с общим катодом, предназначенные, в первую очередь, для использования в DC/DC преобразователях и выходных выпрямителях, как для жесткого, так и для мягкого режимов переключения. Устройства LQA150 в корпусах DPAK, D2PAK и TO-220 отгружаются со склада компании немедленно после подтверждения заказа. В партиях из 10,000 штук цена одного диода находится в диапазоне от \$0.33 до \$0.96.

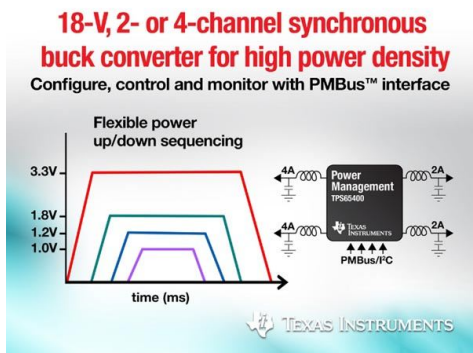
## Texas Instruments представляет первый в отрасли 18-вольтовый многоканальный синхронный понижающий преобразователь с интерфейсом PMBus

*КПД высокоинтегрированного DC/DC преобразователя для автомобильных и коммуникационных приложений с ограниченным пространством достигает 95%*

Texas Instruments (TI) представила четырехканальный понижающий DC/DC преобразователь с цифровым интерфейсом PMBus/I<sup>2</sup>C, предназначенный для оборудования с ограниченным пространством, работающего в условиях повышенной температуры окружающей среды без использования принудительного охлаждения, такого, как малые базовые станции, информационно-развлекательные системы и твердотельные устройства. Двух- или четырехканальный конфигу-

рируемый преобразователь TPS65400 с восемью интегрированными мощными MOSFET при наименьшей площади корпуса имеет лучший в отрасли КПД, достигающий 95%.

TPS65400 содержит четыре сильноточных синхронных понижающих регулятора с интегрированными MOSFET. Каждый импульсный преобразователь, отдавая в нагрузку ток 2 А или 4 А, может эффективно обеспечивать питанием такие цифровые устройства, как процессоры, ПЛИС, специализированные

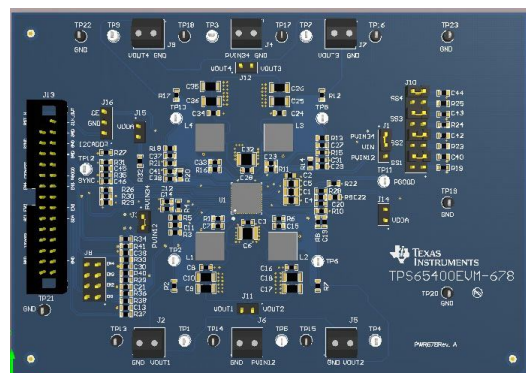


микросхемы, память и цифровые входы/выходы. Частота переключения преобразователя устанавливается внешним резистором в диапазоне от 275 кГц до 2.2 МГц. Для работы TPS65400 достаточно единственного источника с напряжением от 4.5 В до 18 В. Таким образом, микросхема способна поддерживать промежуточные 5- и 12-вольтовые шины распределения питания.

### Основные особенности преимущества TPS65400

- Гибкое управление последовательностью включения и выключения повышает надежность системы.
- Управление параметрами и контроль статуса через PMBus повышают интеллектуальность системы.
- Динамическое масштабирование напряжения оптимизирует характеристики процессора.

- Чередование фаз снижает требования к входной емкости и уменьшает уровень пульсаций.
- Перераспределению токов позволяет увеличить выходной ток и повысить гибкость конструирования.
- Небольшой 48-выводной корпус VQFN размером 7 7 0.9 мм.



Оценочный модуль TPS65400EVM.

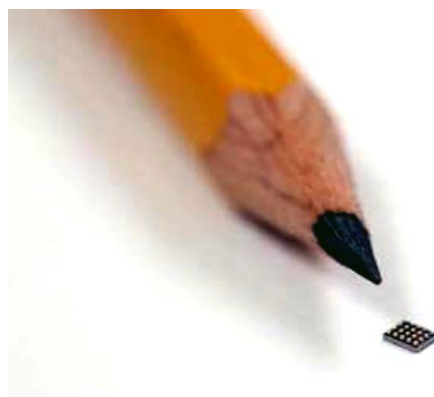
### Доступность, корпуса и цены

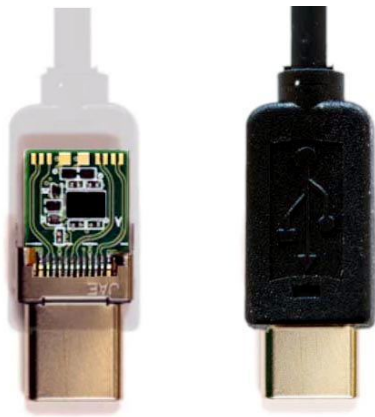
Преобразователи выпускаются серийно и могут быть приобретены у TI или ее авторизованных дистрибьюторов. TPS65400 предлагаются в 48-выводных корпусах VQFN со сниженным тепловым сопротивлением по цене \$3.68 за штуку в партиях из 1000 приборов. За \$199 можно заказать оценочный модуль TPS65400EVM-678.

## Суресс представила образцы второго поколения контроллеров USB Type-C в сверхминиатюрных корпусах, встраиваемых в кабели и кабельные адаптеры USB 3.1

*Программируемый однокристалльный контроллер EZ-PD CCG2 Type-C обеспечивает OEM-производителям быстрый выход на рынок*

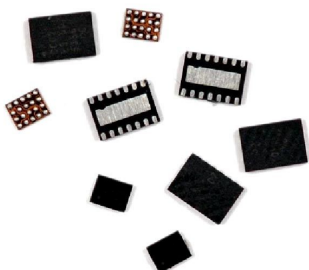
Cypress Semiconductor представила образцы сверхмалогогабаритных контроллеров, предназначенных для интеграции в разъем кабеля USB Type-C и поддерживающих функцию подачи питания. Оптимизированный для размещения в кабельных разъемах USB Type-C высотой 2.4-мм, программируемый контроллер EZ-PD CCG2 способен полностью поддерживать любые типы как восходящих, так и нисходящих портов USB Type-C. Контроллер EZ-PD CCG2 выпускает-





ся в корпусе WLCSP (корпус в размер подложки кристалла) площадью 3.3 мм<sup>2</sup> и является первым программируемым решением с полной интеграцией как приемопередатчика Type-C, так и согласующих резисторов, необходимых для обмена данными через Type-C.

Стандарт USB Type-C получает все более широкую поддержку ведущих производители ПК, так как не только дает им возможность создавать тонкие промышленные конструкции, подключаемые удобными разъемами и кабелями, но и позволяет использовать различные протоколы, а также передавать по кабелю мощность до 100 Вт, что существенно превышает 7.5 Вт, предусмотренные предыдущим стандартом. Однако стандарт Type-C требует применения специального кабеля EMCA (Electronically Marked Cable Assembly – кабельная сборка с электронным маркером), способного сообщать характеристики кабеля, такие, как допустимая токовая нагрузка, поддерживаемые протоколы и идентификатор поставщика. Хотя для реализации функции EMCA может использоваться стандартный микроконтроллер, это усложняет конструкцию, требуя нескольких внешних ИС и пассивных компонентов. Контроллеры EZ-PD CCG2 Type-C компании Cypress решили эту проблему за счет беспрецедентной интеграции и сокращенного до пяти максимально необходимого количества внешних элементов. Это делает контроллеры идеально



подходящими для пассивных и активных EMCA кабелей, а также для кабельных адаптеров, позволяющих пользователям подключать устройства с портом Type-C к устройствам с портами DisplayPort или HDMI.

«Контроллеры CCG1 компании Cypress открыли путь для быстрого принятия стандарта USB Type-C нашими клиентами топ-уровня, принеся на рынок не только стандартную функцию Plug & Play, но также возможности мультипротокольного подключения и передачи питания, – сказал Аджей Срикришна (Ajay Srikrishna), вице-президент продуктовой линейки USB компании Cypress. – Теперь же, благодаря непревзойденному уровню интеграции нашего контроллера EZ-PD CCG2 Type-C второго поколения и его крошечному корпусу, мы имеем оптимизированное, программируемое решение для электронной маркировки кабелей и кабельных адаптеров».

Степень защиты контроллера CCG2 EZ-PD от воздействия статического электричества соответствует уровню System Level ESD (8 кВ контактный разряд, 15 кВ воздушный разряд), что исключает необходимость в дополнительных элементах защиты, позволяя сэкономить место на печатной плате и сократить количество внешних компонентов. Контроллер с ядром ARM Cortex-M0 имеет встроенную флэш-память объемом 32 КБ, обеспечивающую гибкость разработки программного обеспечения, обновление которого можно производить как на этапе разработки продукта, так и во время его производства или эксплуатации. Эта функция особенно полезна для будущих изменений спецификации USB-IF, которые повлекут за собой лишь простую замену прошивки микроконтроллера.



Демонстрационный набор CCG2 EMCA.

## Доступность продуктов

В настоящее время доступны инженерные образцы кабельных контроллеров семейства CYPD21XX CCG2 Type-C, а серийное производство начнется в июне. CCG2 выпускаются 20-контактных корпусах WLCSP и 14-выводных корпусах DFN.

## Bosch изготовила 5-миллиардный МЭМС-датчик

- МЭМС-датчики используются 20 лет в автомобилестроении и 10 лет в потребительской электронике
- МЭМС-датчики являются органами чувств современных технических систем
- Миниатюрные, надежные, умные и энергоэффективные
- Bosch является пионером и мировым лидером в технологии изготовления МЭМС

Эти изделия очень малы, но их значение очень велико: они спасают наши жизни, повышают комфорт управления, экономят энергию и являются неотъемлемой частью изделий бытовой техники и электроники. «МЭМС-датчики – ключевая технология в мире коммуникаций, – говорит доктор Дирк Хохейсель (Dirk Hoheisel), член совета директоров Robert Bosch GmbH. – Они обладают высочайшими характеристиками, и, в то же время, миниатюрны, надежны и чрезвычайно рентабельны при крупносерийном производстве». Недавно на своем заводе в Ройтлингене Bosch изготовила пятимиллиардный МЭМС-датчик. МЭМС – это аббревиатура названия МикроЭлектроМеханические Системы. Bosch разработала основополагающие технологические принципы изготовления полупроводниковых МЭМС и в 1995 году приступила к их массовому производству. «В течение 20 лет мы занимаемся разработкой интеллектуальной технологии для все более широкого круга реальных приложений», – продолжил Хохейсель. Первые модели использовались в автомобильном транспорте для измерения давления и ускорения. Теперь же 75% датчиков используется в потребительской электронике. «Датчики Bosch устанавливаются в каждом втором смартфоне», – сказал Хохейсель. В настоящее время компания является ведущим мировым производителем датчиков МЭМС.

### Bosch – пионер технологии МЭМС

Массовое производство, заложившее основы современной технологии, Bosch начала в 1995 году. Сегодня в портфеле МЭМС-изделий компании имеются датчики ускорения, угловой скорости, давления, расхода и параметров окружающей среды, а также микрофоны. И если для того, чтобы изготовить первый миллиард МЭМС-датчиков, компании потребовалось 13 лет, то сейчас подразделение Bosch Automotive Electronics на заводе в Ройтлингене, недалеко от Штутгарта, производит то же количество менее чем за год. Это

стало результатом резко выросшего спроса на датчики. В настоящее время число изготавливаемых за один день датчиков достигло четырех миллионов. Толщина этих миниатюрных помощников варьируется от одного до нескольких миллиметров. Если 5 миллиардов датчиков Bosch уложить друг на друга, получится башня высотой 12,000 километров. Для сравнения: диаметр Земли составляет 12,742 км.

### Игровые консоли, автомобили и смартфоны – все нуждаются в МЭМС-датчиках

Спектр применения датчиков МЭМС очень широк. Например, SM1700 фиксирует параметры вращательного движения, величину поперечного ускорения и угол крена. Этот прибор является сердцем системы стабилизации курсовой устойчивости автомобиля (ESP), делающей машину более безопасной в критических ситуациях. Другой датчик – SMP480 – обеспечивает более тихую работу двигателя, а также оптимизирует состав топливно-воздушной смеси в соответствии с меняющимися условиями окружающей среды, чем снижает расход топлива и делает выхлопные газы более чистыми.



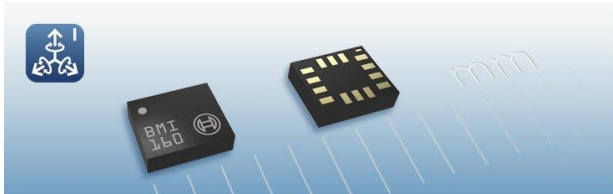
МЭМС-датчик SM1700.

В 2005 году Bosch создала дочернюю компанию Bosch Sensortec GmbH, выпускающую широкий ассортимент МЭМС-датчиков и решений для сектора потребительской электроники, включая смартфоны, планшеты и носимые устройства. Инерциальные измери-



МЭМС-датчик SMP480, используемый в системе управления двигателем.

тельные блоки (IMU – Inertial measurement units), такие, как BMI160, используются, например, в дистанционных игровых консолях. Они передают движения игрока в реальном времени с исключительно высокой точ-



Инерциальный измерительный блок BMI160.

ностью. Датчики ускорения обеспечивают правильную ориентацию экрана при изменениях ориентации смартфона. В начале 2015 года Bosch Sensortec представила еще один новаторский проект: BME680. В одном корпусе этого измерителя параметров окружающей среды находятся датчики атмосферного давления, влажности, окружающей температуры и, впервые в отрасли, качества воздуха.

### МЭМС-датчики делают неэлектронные объекты умными

Очередной этап технологической революции уже начался. Во все более и более связанном мире вещи учатся общаться. МЭМС-датчики являются важным технологическим компонентом, играющим в этом процессе



Датчик параметров окружающей среды BME680.

ключевую роль. Основанная в 2013 году компания Bosch Connected Devices and Solutions («Подключаемые устройства и решения Bosch») разрабатывает и выводит на рынок основанные на датчиках Интернет-устройства, оптимизированные для Интернета вещей. В интеллектуальной системе, оснащенной микроконтроллером, миниатюрной батареей и радиочипом, получаемая от МЭМС-датчиков информация может обрабатываться и отправляться через Интернет, например, в смартфон пользователя.

### Крошечные, умные, надежные и энергоэффективные

Очень важно, чтобы датчики были миниатюрными, насколько это возможно, особенно для смартфонов, планшетов и подобных им устройств. Это связано с тем, что функциональная насыщенность таких устройств постоянно увеличивается, а их размеры уменьшаются. В устройствах бытовой электроники используются МЭМС-датчики толщиной меньше миллиметра. Толщина некоторых внутренних элементов МЭМС составляют четыре микрона, что в 17 раз тоньше человеческого волоса. Тем не менее, эти крошечные компоненты надежны и могут очень много. И, кроме того, они исключительно энергоэффективны. К примеру, датчики охранных систем автомобилей должны быть готовы к использованию в любое время, потребляя при этом от аккумуляторной батареи минимально возможный ток. В бытовой электронике расход энергии также имеет первостепенное значение, чтобы максимально продлить время автономной работы от аккумулятора.

## Новый компаратор фирмы Diodes продлит время автономной работы устройств с батарейным питанием

Компания Diodes представила одноканальный компаратор нового поколения AZV3001, разработанный специально для

использования в оборудовании с низковольтным батарейным питанием. Один канал компаратора потребляет всего 6 мкА при

гарантированном рабочем напряжении от 1.6 В до 5.5 В, что хорошо подходит для систем с питанием от источников 1.8 В, 3.0 В или 5.0 В, таких, например, как мобильные телефоны, планшеты и ноутбуки, увеличивая время их автономной работы от батарей.

Внутренний гистерезис компаратора обеспечивает устойчивость к небольшим паразитным флуктуациям малых напряжений, а выходной каскад на комплементарной паре MOSFET позволяет формировать выходной сигнал, полностью использующий весь диапазон напряжений питания. AZV3001 выпускается в 6-выводном корпусе X2-DFN1410-6, а двухканальная версия AZV3002 появится несколько позже в 8-выводном корпусе U-FLGA1616-8.



Благодаря задержке распространения 0.8 нс, низкому току смещения 1 пА и гарантированному отсутствию возможности переворота фазы, разработчики встраиваемых систем получают универсальное решение, удовлетворяющее требованиям практически любых низковольтных устройств.

## Mitsubishi Electric разрабатывает прототип активной фазированной антенной решетки для мобильных сетей 5G

Mitsubishi Electric сообщила о создании прототипа активной фазированной антенной решетки (АФАР), предназначенной для обработки новой технологии формирования многолучевой диаграммы направленности, которая, возможно, будет использоваться в мобильных сетях пятого поколения (5G). Прототип многолучевой решетки Mitsubishi Electric продемонстрировала 8 апреля 2015 года в Нью-Йорке на совещании Brooklyn 5G, организованном совместно с Nokia Networks.

### Ключевые особенности прототипа АФАР:

- Пространственное мультиплексирование четырех лучей с помощью многоэлементной антенны
- Управление направлением передачи и приема радиосигнала посредством двумерного сканирования диаграммы направленности.
- Использование частоты 3.5 ГГц – наивысшей в современных системах мобильных коммуникаций.

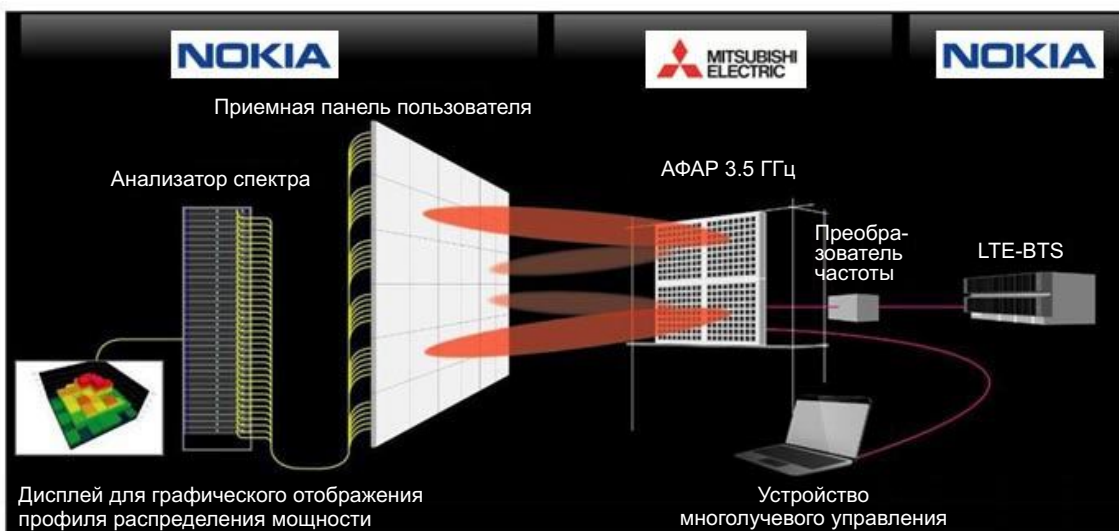


Схема совместной демонстрации.

Для демонстрации одновременного управления четырьмя лучами диаграммы направленности Mitsubishi Electric подключила прототип своей АФАР к оборудованию базовой станции компании Nokia Networks. Mitsubishi Electric и Nokia Networks намерены продолжить совместную работу по оценке возможности использования АФАР в мобильных сетях 5G.

Как ожидается, многолучевые технологии, основанные на многоэлементных антенных решетках, позволят намного эффективнее использовать частотный спектр. Чтобы справиться со стремительно нарастающим объемом радио трафика, мобильные системы

стандарта 5G, который придет на смену LTE и LTE-Advanced, будут использовать антенные решетки с многолучевой диаграммой направленности.

Технология АФАР компании Mitsubishi Electric уже коммерчески используется на спутниках и в других системах, а теперь компания намерена адаптировать ее для использования в базовых станциях 5G.

Совещание Brooklyn 5G, проведенное совместно Nokia Networks и исследовательским центром NYU WIRELESS в Политехнической инженерной школе Нью-Йорка, было сосредоточено на важнейших тенденциях в беспроводных технологиях поколения 5G.

## Micrel создала новые конфигурируемые многоканальные микросхемы управления питанием для потребительских и промышленных приложений

Компания Micrel представила новое семейство высокоинтегрированных конфигурируемых микросхем управления питанием, содержащих шесть независимых DC/DC преобразователей. Выпускаемые в малогабаритном корпусе FQFN размером 4.5 × 4.5 мм, микросхемы MIC7400/MIC7401 позволяют создавать решения с исключительно высокой плотностью мощности при общих размерах 12 × 8 × 1 мм. В общей сложности, в микросхемах MIC7400/MIC7401 объединены пять независимых 3-амперных синхронных понижающих преобразователей и независимый асинхронный повышающий преобразователь с выходным током 200 мА, а также многочисленные программируемые функции, обеспечивающие высокую гибкость при создании систем управления питанием. Устройства ориентированы на использование в твердотельных накопителях, а также в приложениях, использующих процессоры и

системы на кристалле, включая умный дом и Интернет вещей. Микросхемы выпускаются серийно и в партиях из 10,000 приборов продаются по ценам, начинающимся от \$4.09 за штуку.

Устройства конфигурируются с помощью интерфейса I<sup>2</sup>C и внутреннего EEPROM. Гибко перестраиваемые микросхемы обеспечивают возможности динамического масштабирования выходного напряжения, переключения между нормальным и дежурным режимами работы, а также управления очередностью и задержкой включения каналов. Потребление тока, типовое значение которого в рабочем режиме составляет всего 200 мкА при всех включенных каналах, может быть дополнительно снижено в дежурном режиме, что позволяет гибко управлять балансом мощности путем снижения выходного напряжения или полного отключения любого выхода. Эта функция дополнительно повышает эффективность в режимах сна и гибернации и увеличивает время автономной работы маломощных приложений. Сочетание высокой плотности мощности и функциональной гибкости, в дополнение к исключительно быстрой реакции на переходные процессы и высокому КПД при облегченных нагрузках, позволяют создавать оптимизированные по эффективности компактные решения и сокращать сроки проектирования конечных изделий.



Инструментальная поддержка, основанная на простом и интуитивно понятном графическом интерфейсе, помогает пользователям в установке конфигурации и управлении устройствами. При входных напряжениях от 2.4 В до 5.5 В на выходах микросхем MIC7400/MIC7401 можно задать напряжения от 0.8 В до 3.3 В с точностью 1.5%, поддерживаемой во всем диапазоне входных напряжений, токов нагрузки и рабочих температур. Встроенный повышающий преобразователь

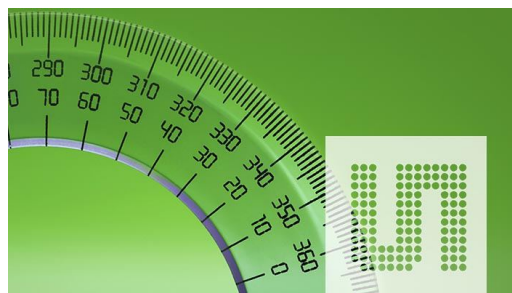
может отдавать в нагрузку стабилизированное выходное напряжение в диапазоне от 7 В до 14 В. Программно устанавливаются также скорости нарастания и спада в режиме мягкого старта, порог ограничения тока, время активного разряда выхода, а также порог и задержка срабатывания встроенной схемы сброса по включению питания. Параметры микросхем MIC7400 и MIC7401 нормируются для диапазона температур кристалла от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Новейшие магнитные датчики положения компании ams обеспечивают беспрецедентную точность на высоких скоростях во всем диапазоне рабочих температур

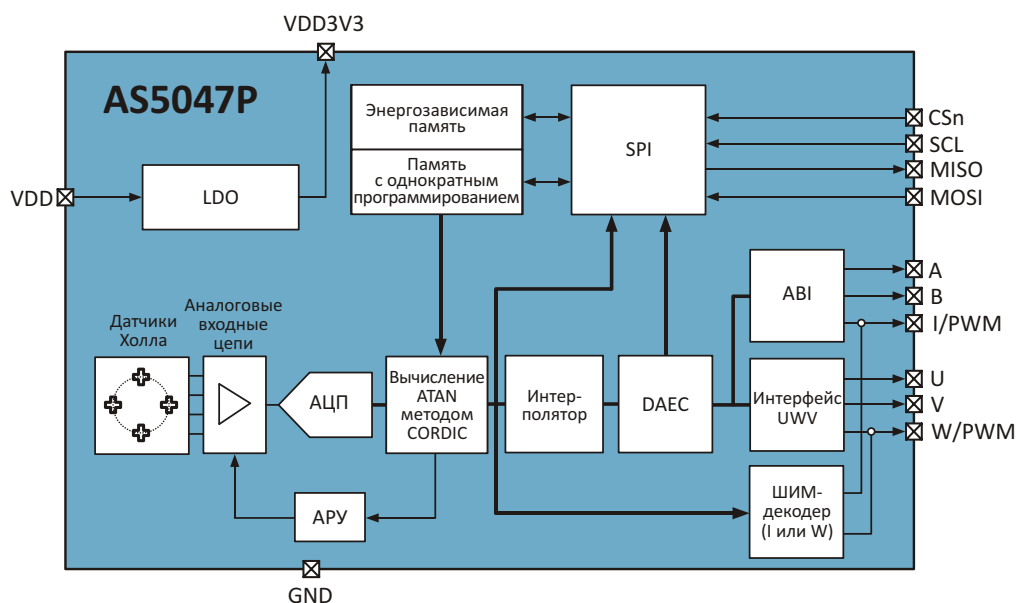
Новый датчик AS5047P с инкрементальным выходом ABI является идеальной заменой оптических энкодеров и синусно-косинусных преобразователей в устройствах управления двигателями, что позволяет значительно снизить стоимость системы, обеспечивая при этом ее высокую точность

Компания ams выпустила новую версию своей 47 серии магнитных датчиков углового положения для двигателей и систем управления движением, отличающуюся более высокими скоростями вращения и повышенным разрешением инкрементальных выходов.

Как и во всех других приборах 47 серии, в новом датчике AS5047P использована разработанная ams технология DAEC (Dynamic Angle Error Compensation – динамическая компенсация угловой ошибки), обеспечиваю-



щая высочайшую точность измерения углов даже при очень больших скоростях враще-

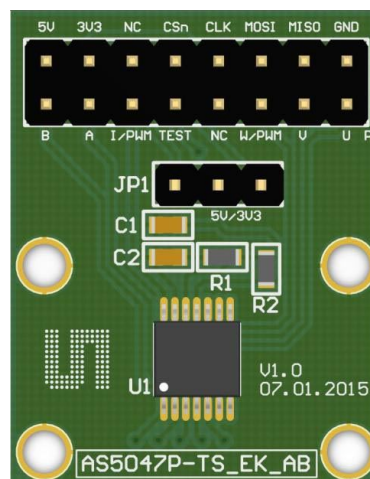


Блок схема датчика AS5047P.

ния. Высокое быстродействие магнитных датчиков 47 серии и инкрементальные выходы АВІ делают их идеальной и надежной альтернативой для замены оптических датчиков. Общая стоимость системы на основе 47 серии также обычно гораздо ниже, чем стоимость эквивалентного оптического энкодера или синусно-косинусного преобразователя.

В новом датчике AS5047P максимальная скорость измерения была увеличена с 14,500 об/мин до 28,000 об/мин, что позволяет использовать его в приложениях с высокой скоростью вращения вала, где ранее могли использоваться лишь оптические энкодеры.

Для этого устройства аms увеличила также число шагов на один оборот для инкрементальных выходов АВІ. Выходы АВІ 47 серии эквивалентны выходам стандартного оптического датчика, поэтому разработчики системы управления двигателем смогут легко заменить оптический энкодер на систему измерения компании аms, основанную на магнитном датчике положения, без внесения каких-либо изменений в имеющиеся программы управления или интерфейс. В датчиках AS5047P максимальное разрешение по выходу АВІ повышено до 4000 шагов на 1000 импульсов на один оборот в десятичном режиме измерения или до 4096 шагов на 1024 импульса на один оборот в двоичном режиме. Это означает, что теперь еще более широкий диапазон оптических датчиков может быть заменен сопоставимыми магнитными датчиками положения.

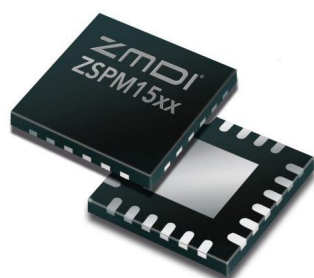


Оценочная плата для AS5047P.

Кроме того, стандартный четырехпроводный последовательный интерфейс SPI позволяет центральному микроконтроллеру считывать из AS5047P 14-битные значения абсолютного углового положения, а также записывать энергонезависимые настройки без привлечения программиста. Одновременно устройство поддерживает стандартный коммуникационный интерфейс UVW для использования с бесколлекторными двигателями постоянного тока, устраняя необходимость в переключателях на эффекте Холла, что дает возможность с помощью одной микросхемы управлять положением ротора двигателя и контролировать работу всей системы в целом. Абсолютное положение угла может быть также представлено в виде выходного сигнала с ШИМ-кодированием.

## ZMDI разработала истинно цифровой контроллер ШИМ для источников питания сетевых, коммуникационных и промышленных приложений

Компания ZMD AG (ZMDI) сообщила о завершении разработки однофазного истинно цифрового мощного контроллера ШИМ



модулятора, оптимизированного для использования в источниках питания сетевого, коммуникационного и промышленного оборудования следующего поколения. Выходное напряжение микросхемы ZSPM1509 фиксировано на этапе производства на уровне 5.0 В, а выходной ток прибора может достигать 10 А.

Во многих сетевых, коммуникационных и промышленных приложениях используются микросхемы ПЛИС или системы на кристалле (SOC). В типичном случае для питания

ПЛИС или SOC требуется несколько шин напряжения. Добавив ZSPM1509 к семейству ZSPM15xx, ZMDI расширила линейку доступных напряжений до диапазона 0.85 В ... 5.0 В. Микросхемы семейства ZSPM15xx, оптимизированные для совместной работы с выпускаемыми ZMDI интегральными силовыми MOSFET каскадами DrMOS, обеспечивают потребителей высококачественными решениями для создания мощных источников питания и ускоряют выход конечного продукта на рынок. ZMDI предоставляет разработчикам рекомендованные перечни материалов и файлы трассировки печатных плат, позволяющие снизить стоимость внешних компонентов и минимизировать размеры приложения.

Семейство цифровых контроллеров ZSPM15xx дает пользователям возможность простого выбора порогов защитного ограничения тока, скорости нарастания выходного напряжения и параметров контура регулирования с помощью всего двух внешних резисторов.

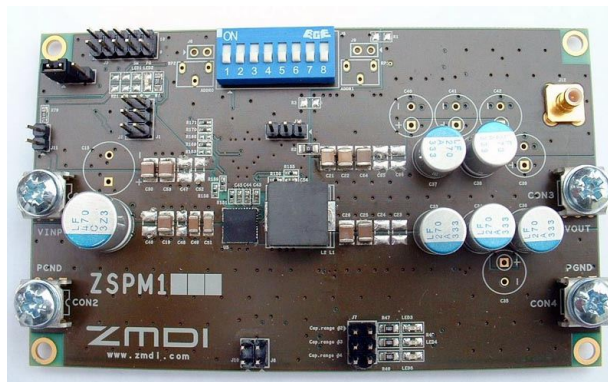
### Особенности

- Усовершенствованные технологии цифрового управления, включая True-sample Technology
- Высокая точность стабилизации выходного напряжения
- Малые уровни пульсаций и шумов на выходе
- Сверхбыстрая реакция на переходные процессы
- Сокращение времени продвижения продукта на рынок за счет наличия предоставляемых ZMDI примеров готовых решений, рекомендуемых перечней материалов и файлов трассировки печатных плат

- Повышенная эффективность при использовании с выпускаемыми ZMDI интегральными силовыми MOSFET каскадами DrMOS типов ZSPM9000, ZSPM9010, ZSPM9015 или ZSPM9060
- Порог защитного ограничения тока, скорость нарастания выходного напряжения и параметры контура регулирования, устанавливаемые пользователем
- Корпус QFN24 4x4 мм с высокой плотностью мощности

### Области применения

- Приложения на основе ПЛИС и SOC
- Телекоммуникационное оборудование
- Базовые станции беспроводной связи
- Шлюзы
- Роутеры и коммутаторы
- Промышленное оборудование



Оценочный набор ZSPM15xx-KIT01

### Доступность

ZSPM1509 выпускаются серийно. Приобрести микросхемы, а также оценочные наборы, можно непосредственно у компании ZMDI или ее авторизованных дистрибьюторов.

## ams начинает производство сверхминиатюрных схем управления питанием для носимых устройств

*Интегральная схема управления питанием AS3701 содержит устройство заряда аккумуляторов, несколько каналов стабилизации напряжения, цепи защиты и интерфейс I<sup>2</sup>C*

Компания ams освоила производство сверхминиатюрных интегральных схем управления питанием AS3701, разработанных специально для использования в носи-

мых устройствах и других электронных изделиях с ограниченным пространством.

В микросхеме AS3701, отличающейся низким током потребления и исключительно



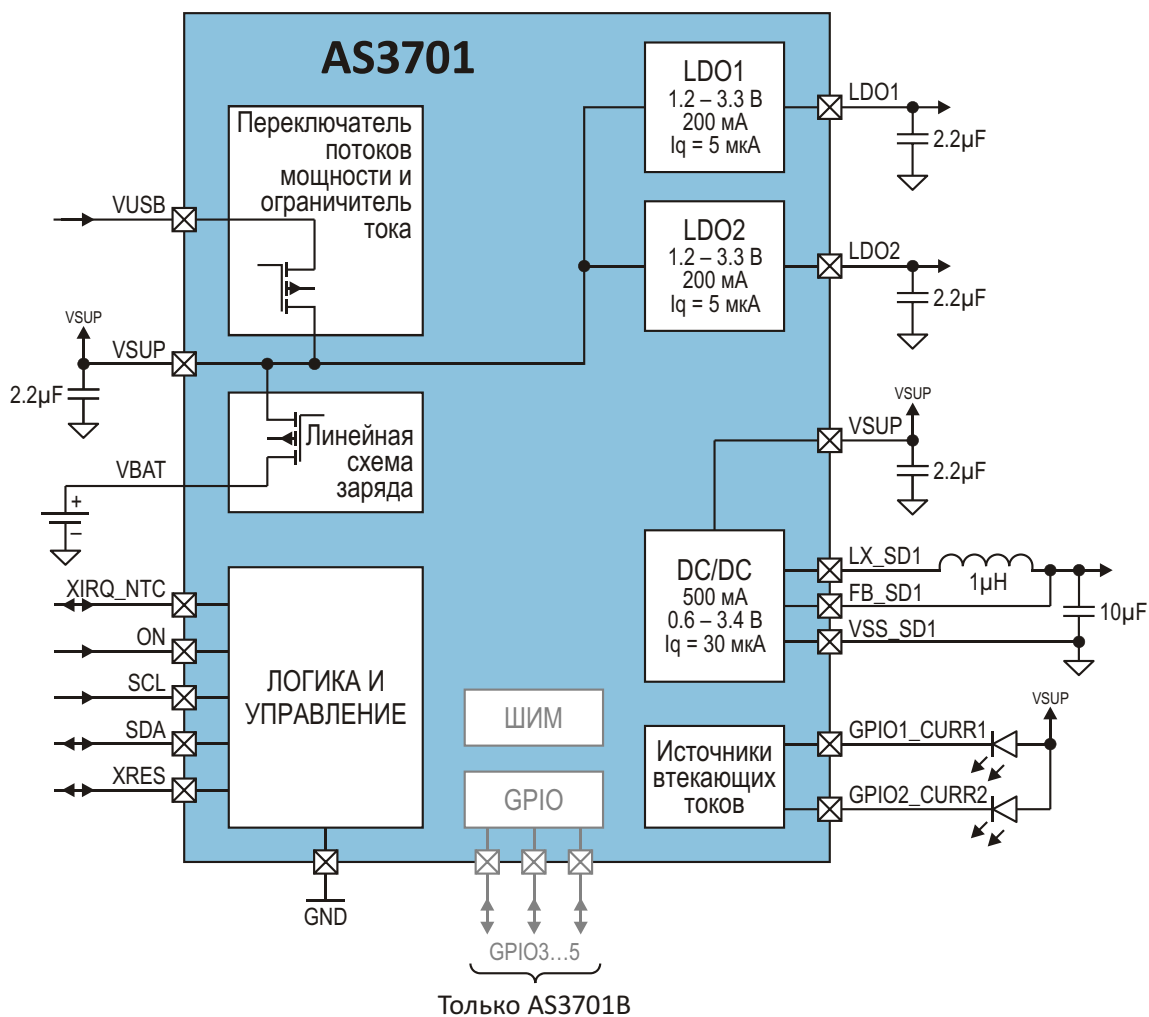
малыми размерами корпуса WL-CSP – всего 2,2 × 0,4 мм, реализованы многочисленные функции стабилизации мощности, энергосбережения, управления зарядом аккумулятора, защиты и мягкого включения.

Используя AS3701, разработчики систем питания будут иметь возможность сэкономить место на плате и расширить функциональность продуктов, получающих питание от одной литий-ионной батареи, таких, как умные часы, носимые медицинские устрой-

ства, спортивные браслеты, ручные GPS-навигаторы и мобильные телефоны.

AS3701 содержит два LDO стабилизатора с выходным током 200 мА, понижающий DC/DC преобразователь с током 500 мА и два источника втекающих токов до 40 мА. Синхронному понижающему преобразователю, работающему на частоте до 4 МГц, требуются лишь небольшая индуктивность и выходной конденсатор емкостью 10 мкФ.

Интегрированное в микросхему зарядное устройство для Li-Ion аккумуляторов может работать в режимах капельного подзаряда, стабилизации тока и стабилизации напряжения при максимальном токе заряда 500 мА. Управление переключением потоков мощности позволяет устройству уверенно запускаться при разряженной батарее и оптимизирует распределение мощности между схемой заряда аккумуляторов и системным источником питания, когда устройство включено в сеть.



Блок-схема AS3701.

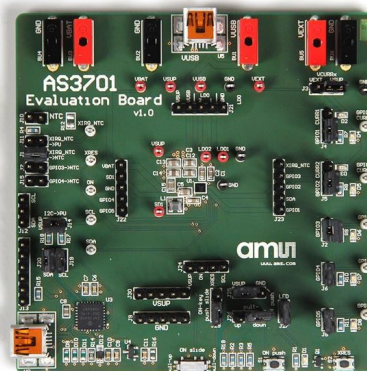
Для многих конструкций будет полезен интерфейс I<sup>2</sup>C, предназначенный для конфигурирования AS3701 внешним процессором или микроконтроллером. Но устройство имеет еще и входы/выходы общего назначения (GPIO), которые могут использоваться в качестве входов управления пробуждением и отключением, входов и выходов ШИМ, выходов прерываний, а также выполнять управляющие функции при работе в автономном режиме.

Однократно программируемая память параметров, задающих порядок включения каналов, позволяет разработчикам гибко адаптировать режимы запуска к различным приложениям и процессорам. Это дает производителям возможность, используя одни и те же решения в различных конечных продуктах, упростить процессы конструирования и консолидации складских запасов.

Интегрированные в микросхему монитор температуры батареи, схема сброса по включению питания и цепи защиты от перегрузки

по току гарантируют надежную и безопасную работу устройства.

AS3701 выпускаются серийно. При заказе 1000 приборов одна микросхема будет стоить \$0.82.



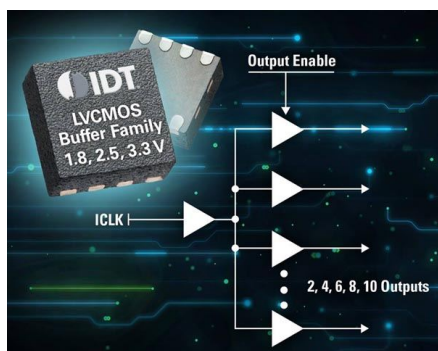
Оценочная плата для AS3701.

ams предлагает также оценочную плату для AS3701, которую можно приобрести онлайн на сайте компании.

## IDT представляет семейство LVCМOS буферов распределения тактовых сигналов с ультранизким джиттером

*При среднеквадратичном значении аддитивного фазового джиттера, не выходящем за пределы 50 фс, новые буферы имеют лучшие в своем классе параметры и сверхминиатюрные корпуса*

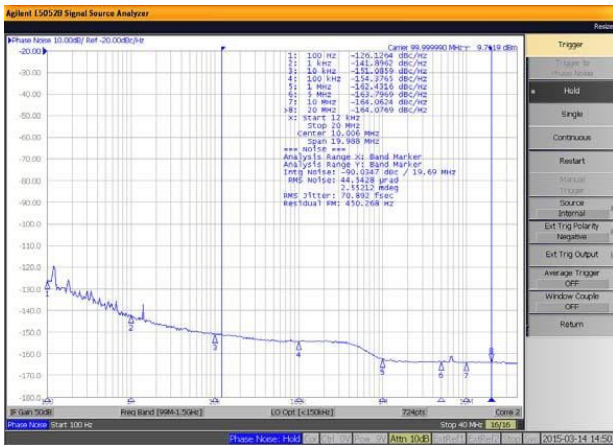
Компания Integrated Device Technology (IDT) представила новое семейство буферов для распределения тактовых сигналов с лучшим в своем классе джиттером и миниатюрными корпусами. Семейство 5PB11xx буферов-распределителей тактовых сигналов на основе логики LVCМOS при аддитивном фазовом джиттере менее 50 фс (в полосе 12 кГц ... 20 МГц) обеспечивает большой запас по джиттеру, чем любые аналогичные устройства, выпускаемые конкурентами.



Небольшие размеры кристалла позволили уместить его в корпусе DFN 8 размером всего 2,2 мм.

Буферы идеально подойдут для высокочастотных потребительских, промышленных, коммуникационных и компьютерных приложений, критичных как к качеству синхросигналов, так и к требуемой площади печатной платы.

Новые буферы доступны в вариантах с 2, 4, 6, 8 и 10 LVCМOS выходами и могут работать при напряжениях питания 1.8 В, 2.5 В и 3.3 В. Приборы отличаются очень незначительной расфазировкой выходных каналов, не превышающей 50 пс, а ток, потребляемый ядром схемы, составляет лишь 14 мА. Все устройства в новом семействе буферов рассчитаны на эксплуатацию в расширенном диапазоне температур от -40 °С до 105 °С, что позволяет использовать их, например, в автомобильных информационно-развлекательных системах.



Выходной фазовый шум 5PB11xx в полосе 12 кГц... 20 МГц составляет 70.9 фс с.к.з.

Помимо семейства 5PB11xx IDT представила также LVC MOS буферы-распределители 1:4 серий 551S и 553S с аддитивным джиттером менее 50 фс в стандартных для отрасли корпусах. Эти устройства также выпускаются в 8-выводных корпусах DFN с размерами 2 × 2 мм и поддерживают напряжения 1.8 В, 2.5 В и 3.3 В, как по шинам питания, так и по выходным уровням.

### Цена и доступность

Конкурентоспособные цены новых буферов начинаются от \$0.8 за штуку для партий из 1000 приборов. Все приборы выпускаются серийно и могут быть отгружены в минимальные сроки.

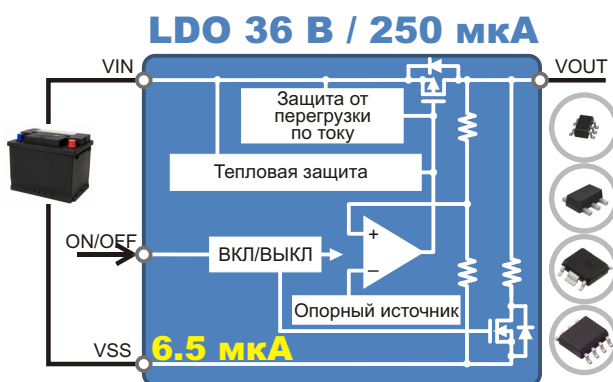
## Seiko предлагает новый LDO стабилизатор для автомобильных систем

Seiko Instruments начинает выпуск нового LDO стабилизатора для автомобильной промышленности, способного отдавать ток 250 мА при входном напряжении до 36 В. Малое потребление тока снижает расход энергии в дежурном режиме и позволяет подключать микросхему непосредственно к аккумуляторной батарее автомобиля.

Компания Seiko Instruments объявила о выпуске новой серии LDO стабилизаторов с входным напряжением 36 В и током 250 мА, предназначенных для устройств автомобильной электроники. Приборы отличаются сверхнизким током потребления (6.5 мкА) и высокой точностью установки выходного напряжения ( $\pm 2.0\%$ ). Инновационная серия стабилизаторов напряжения S-19212 идеально подходит для использования в автомобильных блоках управления двигателями, трансмиссией и подвеской, в системах ABS, а также в электронном оборудовании электрических и гибридных транспортных средств. К другим типичным автомобильным приложениям относятся устройства контроля и управ-

ления элементами кузова и фарами, интегрированные системы и аксессуары, средства навигации и аудиосистемы.

Серия S-19212 специально разрабатывалась для удовлетворения жестких требований по качеству, предъявляемых к изделиям для автоэлектроники. При максимальном входном напряжении 36 В (предельно допустимое – 45 В) и диапазоне рабочих температур до 125 °С микросхемы могут работать в тяжелых условиях эксплуатации, характерных, например, для подкапотного пространства автомобилей. Шкала доступных выходных напряжений насчитывает 13 значений в диапазоне от 2.5 В до 16 В, однако по согласованию с изготовителем шаг заказа можно уменьшить до 0.1 В. Микросхемы выпускаются в бессвинцовых, не содержащих галогенов корпусах HSOP-8A, HSOP-6, SOT-89-5 и SOT-23-5. Встроенная защита по току ограничивает ток выходного транзистора, тепловая защита отключает микросхему при перегреве, а вход выключения позволяет продлить срок службы аккумуляторной батареи. Для работы микросхемы достаточно небольших входных и выходных керамических конденсаторов емкостью всего 1.0 мкФ. Диапазон рабочих температур кристалла равен  $-40 \dots +150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

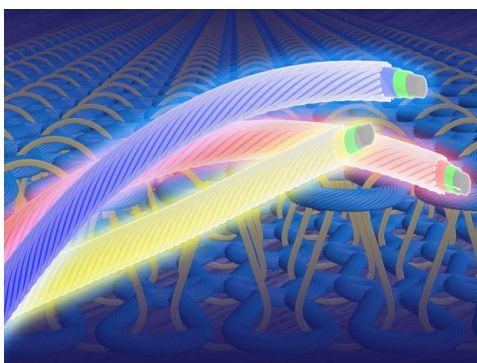


Серия S-19212 поддерживается сервисом теплового моделирования, дающим рекомендации по выбору величины теплового сопротивления и топологии печатной платы и позволяющим сделать правильный выбор

типа корпуса. В настоящее время микросхемы проходят процедуру сертификации по стандарту AEC-Q100 и получили подтверждение соответствия производственного процесса регламенту PPAR.

## Исследователи изобрели светоизлучающие волокна для умопомрачительной одежды

Исследователи из университета Фудань (Шанхай) изобрели тонкие светоизлучающие волокна, которые могут быть вплетены в текстиль, что позволит использовать их для производства светящейся одежды и другой носимой электроники.



*Illustration: Zhitao Zhang*

Органические светоизлучающие диоды (OLED) все чаще находят применение в экранах смартфонов и телевизоров, поскольку обеспечивают высокую яркость и широкий диапазон цветов, и при этом могут размещаться на жестких, изогнутых и даже гибких поверхностях. Однако внедрить OLED в ткань трудно, поскольку они зависят от катодов, которым для полного вытеснения электронов с их поверхностей необходимо относительно небольшое количество энергии. Подобные материалы с «малой работой выхода», включая кальций или магний, чувствительны к воздуху, что создает проблему для их использования в тканях.

Поэтому вместо OLED Чжитао Чжан (Zhitao Zhang) из Фуданьского университета в Шанхае и его коллеги исследовали устройство, известные как полимерные светоизлучающие электрохимические ячейки (PLEC). Как и OLED, PLEC обычно состоят из двух металлических электродов, подключенных к электролюминесцентному органическому полупроводнику, но PLEC дополнительно содержат соли в светоизлучающем слое. Это

решение не только дает такие преимущества перед OLED, как высокий коэффициент преобразования электронов в фотоны и большой энергетический КПД, но также не требует катодов с малой работой выхода.

Теперь ученые разработали волокнистые PLEC толщиной примерно один миллиметр, состоящие из тонкой стальной проволоки, покрытой слоем наночастиц оксида цинка, электролюминесцентного полимера и внешнего прозрачного слоя из углеродных нанотрубок. Эти волокна можно скручивать друг с другом и вплетать в узоры легкого и гибкого текстиля. Чжан совместно с Хушен Пэнгом (Huisheng Peng) и своими коллегами подробно описал проведенные исследования в журнале *Nature Photonics* за 18 марта.

Если между внутренней металлической проволокой и внешним слоем из углеродных нанотрубок приложить напряжение несколько вольт или выше, волокна будут излучать синий или желтый свет со всей своей поверхности. В будущем можно получить свечение и других цветов. Наночастицы оксида цинка и электролюминесцентный полимер изготавливаются с помощью простого процесса, который, как предполагают ученые, может быть доработан для практических приложений. По словам Чжана, эти волокна могут применяться в светоизлучающей одежде для создания интеллектуальных изделий из ткани.

Существенным недостатком PLEC является быстрая деградация параметров. Яркость свечения этих волокон уменьшается наполовину уже после четырех часов работы. Тем не менее, исследователи в области электроники Энрике Орти (Enrique Ortí) и Хенк Болинк (Henk Bolink) из университета Валенсии (Испания), не принимавшие участия в этой работе, в своем обзоре, опубликованном в журнале *Nature Photonics*, отметили, что уже существуют PLEC, способные работать в течение нескольких тысяч часов, и, возможно, когда-то они начнут использоваться в волокнах длительного свечения.

## SEPCO создала систему светодиодного уличного освещения морской базы в Калифорнии, работающей на солнечной

Компания SEPCO анонсировала новый проект светодиодного уличного освещения с питанием от солнечных батарей, реализованный в интересах Авиационной станции морской пехоты Мирамар в Сан-Диего – базы, на территории которой снимался фильм «Лучший стрелок». Автономное освещение заменило прежнюю систему, потреблявшую от электрической сети более 257 кВт. Помимо этого, новые твердотельные светильники дают намного более совершенное освещение с точки зрения визуальной безопасности, и в то же время сокращают затраты на обслуживание.



Прежде жилая территория военного городка освещалась 150-ваттными натриевыми лампами высокого давления, установленными на 143 столбах. Вместе с балластом каждый столб потреблял 180 Вт. 18-ваттные светодиодные уличные светильники дали бы огромную экономию даже при подключении к электрической сети, однако в данном случае можно говорить о практически бесплатной энергии.

Эффективность светодиодов вдохнула новую жизнь в солнечную индустрию. Даже притом, что рост эффективности солнечных батарей практически прекратился, ее вполне достаточно для многих приложений наружного освещения.

В рамках проекта Мирамар SEPCO установила комплект солнечных панелей, энергии каждой из которых хватает для заряда аккумуляторов, от заката до рассвета снабжающих ток четыре светильника. Конечно же,

Сан-Диего относится далеко не к самым бессолнечным географическим регионам. Тем не менее, масштабы сделанного впечатляют уже одним тем, что наземные солнечные панели пришлось устанавливать лишь возле каждого четвертого столба (фото внизу).



Одновременно этот проект позволил Мирамар выполнить требования, предписываемые федеральным правительством. Согласно Федеральному закону об энергетической политике, наружное светодиодное освещение относится к категории проектов, способствующих «существенному снижению» потребления энергии. Наконец, весьма важно то, что широкий спектр твердотельных источников света обеспечивает пешеходам и водителям намного лучшую видимость, тем самым, повышая степень их защищенности и безопасности.

База Мирамар смогла уменьшить нагрузку на энергосистему, создаваемую наружным освещением, до ничтожного значения 2.6 кВт. Кроме того, новая система позволила существенно упростить прокладку кабелей, что благоприятно сказалось на внешнем облике территории.

Также немаловажным фактором для персонала базы была ожидаемая экономия на техническом обслуживании системы освещения. По словам служащих Мирамар, натриевые лампы высокого давления приходится заменять в среднем через 20,000 часов. Ожидается, что светодиодные уличные светильники с питанием от солнечных батарей не потребуют никакого ухода на протяжении

## Новый вид модуляции может стать частью 5G

Lou Frenzel

Microwaves & RF

Не каждый день появляются новые методы модуляции. Все основные схемы модуляции известны более века, и даже самым новым из них уже несколько десятков лет, поэтому появление нового метода стало бы исключительным событием в мире телекоммуникаций. Однако совсем недавно новый метод был анонсирован израильской компанией MagnaCom. Получивший название WAM (WAve Modulation), этот метод изначально разрабатывался как существенное усовершенствование QAM-OFDM. Принимая во внимание, насколько широкое распространение получили QAM и OFDM, WAM может оказать очень большое влияние на развитие коммуникационного оборудования.



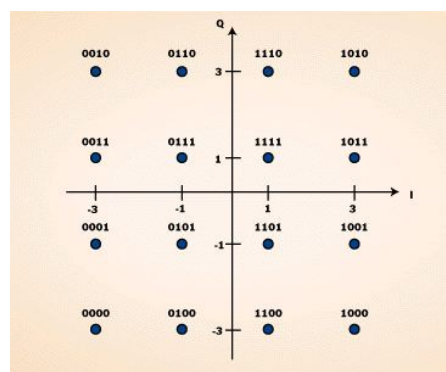
Фото Thinkstock.

Ведь, если задуматься, в большинстве последних высокоскоростных коммуникационных систем, как проводных, так и беспроводных, используются QAM и OFDM. Эта форма модуляции нашла применение в кабельном телевидении (DOCSIS) и в DSL (дискретная многотональная модуляция). А также во многом другом, включая Wi-Fi, сотовый стандарт 4G LTE, WiMAX и большинство систем коммуникаций по линиям электропередачи. Столь высокая популярность комбинации OFDM и QAM объясняется наивысшей спектральной эффективностью среди всех известных способов модуляции, поскольку обеспечивает максимально возможную скорость передачи данных при минимальной

ширине занимаемой полосы частот. И вот теперь MagnaCom утверждает, что WAM будет еще лучше.

WAM – чисто цифровая технология, набор алгоритмов, реализующих форму спектрального сжатия. На пути обработки сигнала WAM занимает место после блока коррекции ошибок, но перед цифровым радиопроцессором. WAM может полностью заменить QAM или работать параллельно в тех случаях, когда требуется обеспечить возможность выбора между QAM и WAM. Важнейшим преимуществом WAM является то, что эта технология не требует никаких изменений в аналоговой части радио. Все I и Q модуляторы, смесители и демодуляторы остаются прежними.

Среди преимуществ WAM разработчики выделяют рост общего усиления системы на 10%, увеличение дальности связи на 400%, 50-процентную экономию спектра, повышенную устойчивость к шумам и более высокую скорость передачи данных, не говоря уже о потенциальном снижении цены и ускорении разработки. Одной из важнейших особенностей WAM, безусловно, является способность работать с нелинейными усилителями мощности (например, класса C), в отличие от дорогих и неэффективных линейных усилителей, которые приходится использовать в системах с OFDM и QAM. Благодаря этому можно сберечь до 50% мощности, потребляемой передатчиком. Все это позволяет говорить, что речь идет не о постепенных улучшениях, а о значительном качественном скачке.



WAM поставляется в форме алгоритма и соответствующего программного кода. Его можно использовать в цифровых процессорах, но, вероятно, более эффективным решением было бы создание специализированной логики на ПЛИС или заказных микросхемах. Технология WAM запатентована компанией MagnaCom, однако косвенно доступна потребителям в форме типовых проектов.

Внедрение в практику любого нового метода модуляции требует немалых усилий, однако WAM обладает тем преимуществом, что оборудование 5G пока находится в стадии разработки, и, возможно, именно WAM в ближайшие годы поможет беспроводным системам сделать шаг вперед. Пожелаем же MagnaCom всего наилучшего.

## LAPIS разработала новую БИС мониторинга многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей

*Масштабируемая архитектура упрощает создание многоэлементных систем, все более востребованных рынком промышленного оборудования*

LAPIS Semiconductor, входящая в группу компаний ROHM, недавно объявила о разработке новой БИС мониторинга литий-ионных аккумуляторов, впервые в отрасли способной поддерживать до 16 последовательно соединенных ячеек, что позволит значительно снизить габариты систем управления батареями литий-ионных аккумуляторов, широко используемыми в устройствах накопления энергии.



Микросхема ML5239 предназначена для мониторинга 16-секционных литий-ионных аккумуляторов с возможностью увеличения числа контролируемых секций путем последовательного соединения нескольких микросхем. Кроме того, ток потребления в режиме отключения был снижен до рекордного для отрасли значения 0.1 мкА, что эффективно сокращает общее энергопотребление системы.

Наряду с руководствами и инструментами, которые могут быть загружены с сайта LAPIS, разработчикам предоставляется ком-

плексная поддержка, включающая оценочные платы и образцы программ, позволяющие легко проверить работоспособность системы.

Как ожидается, потребность в литий-ионных аккумуляторах с высокой энергетической плотностью, уже широко используемых в бытовых устройствах накопления энергии и системах бесперебойного питания, будет все более возрастать по мере распространения систем «Умный дом» и HEMS (Home Energy Management Systems – Система управления энергией домашнего хозяйства). Однако для таких приложений необходимы батареи намного большей емкости, чем аккумуляторы, используемые в портативной электронике или в электроинструментах, что требует решений, поддерживающих управление многокаскадными соединениями батарей и более высокими напряжениями. Важно также, чтобы собственный ток потребления подобных систем управления был минимальным, чтобы обеспечить эффективную работу в различных чувствительных к энергопотреблению приложениях, таких, например, как источники аварийного электропитания.

Учитывая эти потребности рынка, LAPIS Semiconductor разработала БИС, оптимизированную для систем мониторинга высоковольтных литий-ионных аккумуляторных батарей, в которой объединила проверенные технологии изготовления схем смешанных сигналов и высоковольтных элементов. Продолжая движение в этом направлении, LAPIS Semiconductor и дальше будет реагировать

на требования рынка промышленного оборудования, создавая еще более высоковольтные микросхемы для систем мониторинга многосекционных литий-ионных батарей.

## Основные особенности ML5239

- **Поддержка до 16 последовательных элементов**

ML5239 предназначена для систем мониторинга литий-ионных аккумуляторов с числом последовательно соединенных ячеек до 16. Наивысшее в отрасли допустимое напряжение 80 В позволяет конфигурировать системы с более высоким напряжением.

- **Допускает последовательное многоступенчатое подключение**

В дополнение к упрощению мониторинга многосекционных батарей, несколько БИС могут быть включены последовательно

для управления еще более высокими напряжениями.

- **Минимизация потребления тока в режиме отключения**

В режиме отключения потребляемый микросхемой ток уменьшается до лучшего в отрасли значения 0.1 мкА, значительно снижая энергопотребление системы. Это особенно эффективно для устройств с большой периодичностью мониторинга.

- **Встроенный АЦП**

Измеренные значения преобразуются в цифровую форму с помощью встроенного АЦП и передаются через интерфейс SPI, позволяя создавать простые, помехоустойчивые системы управления батареями.

## Область применения

- Системы накопления энергии, источники бесперебойного питания

## Технические характеристики

Параметр	Значение
Количество поддерживаемых ячеек	6 (последовательно). Масштабируется многосекционным последовательным соединением
Ток потребления в дежурном режиме	0.1 мкА (тип.)
Встроенный АЦП	Последовательных приближений, 12 бит
Погрешность измерения напряжения ячейки	±10 мВ (тип.)
Балансировка ячеек	Встроенный драйвер на NMOSFET
Датчик для измерения температуры	Выход для подключения термистора (4 канала)
Функции самодиагностики	Измерение напряжения ячеек, вывод индикации короткого замыкания/обрыва
Интерфейс микроконтроллера	Последовательный интерфейс SPI (с функцией обнаружения ошибок)
Диапазон рабочих напряжений	+10 ... +72 В
Диапазон рабочих температур	-40 ... 85 °С
Корпус	TQFP64 (12 12 мм)

## Micrel выпускает лучшие в своем классе приемники диапазона 400...450 МГц

Micrel представила супергетеродинные ООК/ASK приемники MICRF229 и MICRF230 диапазона 400 ... 450 МГц с подавлением зеркального канала и малым потреблением мощности. Оба устройства, работающие от источника питания 3.5 ... 5.5 В, имеют чувствительность -112 дБм и способны принимать данные, поступающие со скоростью до 1 кбит/с. В режиме непрерывного приема микросхемы потребляют всего 6 мА. Прибо-

ры предназначены для систем беспроводного доступа в автомобили, устройств домашней автоматизации и других малопотребляющих приложений с низкой скоростью обмена данными. MICRF229 и MICRF230 уже выпускаются серийно и в партиях от 1000 приборов продаются по ценам, начинающимся от \$1.60 за штуку.

«Ожидается быстрый рост мирового рынка систем домашней автоматизации. В первую



очередь, это системы безопасности и управления освещением, – заметил Брайан Хедаяти (Brian Hedayati), вице-президент по маркетингу высокоэффективных линейных и силовых решений компании Micrel. – Новые экономичные, недорогие и надежные радиочастотные продукты Micrel также адресованы этому стремительно развивающемуся рынку».

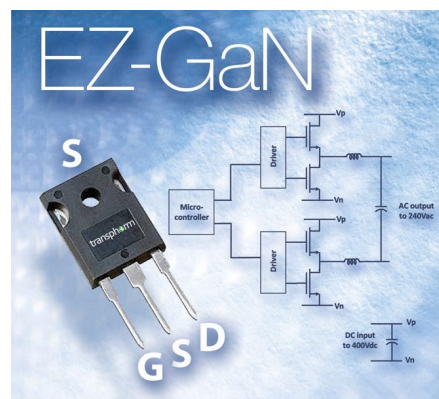
Для работы MICRF229 и MICRF230 требуется только кварцевый резонатор и минимальное количество внешних компонентов. В приемник MICRF229 заложена функция автопроса, благодаря которой мощность потребления может оставаться сниженной менее чем до 0.5 мВт до тех пор, пока не будет принят правильный сигнал и выведен из режима сна микроконтроллер. MICRF230 имеет дополнительный режим бесшумной настройки, в котором выход данных блокируется до момента приема достоверной комбинации бит, а ток потребления составляет всего 0.5 мкА, что позволяет внешнему микроконтроллеру не выходить из режима останова. Рассчитанные на диапазон рабочих температур от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$  микросхемы MICRF229 и MICRF230 поставляются в 16-выводных корпусах QSOP размером 4.9 6.0 мм.

## Transphorm анонсирует первые в отрасли 600-вольтовые GaN транзисторы в корпусе TO-247

*Низкое сопротивление открытого канала приборов TRH3205WS позволяет, не прибегая к параллельному соединению транзисторов, создавать высокоэффективные инверторы мощностью до 3 кВт и самые совершенные источники питания*

На выставке APEC 2015 компания Transphorm показала инженерные образцы своих новых 600-вольтовых нитрид галлиевых (GaN) транзисторов в корпусе TO-247. При сопротивлении открытого канала 63 мОм и допустимом токе 34 А приборы TRH3205WS, в которых используется запатентованная Transphorm технология соединения кристаллов с выводами, снижающая уровни электромагнитных излучений при высокой скорости нарастания напряжения, позволяют сократить потери переключения и увеличить рабочие частоты в таких приложениях, как источники питания и инверторы. Новые устройства, расширяя семейство продуктов EZ-GaN™ компании Transphorm, теперь поддерживают конструкции солнечных инверторов с уровнями мощности от нескольких сотен ватт (микроинверторы) до нескольких киловатт (центральные инверторы).

На своем стенде Transphorm показала, что с помощью ее нового транзистора TRH3205WS можно создавать сверхвысокоэффективные схемы преобразования энер-



гии. Компания продемонстрировала 2.4-киловаттный безмостовой двухтактный корректор коэффициента мощности, КПД которого достигал почти 99% при работе на частоте 100 кГц. При объединении двухтактного корректора с силовым каскадом DC/DC преобразователя, выполненном на GaN транзисторах, значительно упрощается конструкция типовой сертификационной модели 80 PLUS Titanium и обеспечивается плотность мощности, недостижимая на кремниевых приборах. Еще один действующий

макет иллюстрировал фантастический уровень динамического сопротивления открытого канала TRH3205WS. В 2009 году Transphorm была первой компанией, сумевшей добиться постоянного и стабильного сопротивления канала во всем диапазоне коммутируемых напряжений от нуля до 400 В. Новейший транзистор, сопротивление открытого канала которого при переключении напряжения 400 В возрастает лишь на 5%, развивает достижения компании в этой области, превосходя аналогичные показатели сравнимых конкурирующих приборов почти на 90%. В статическом разделе экспозиции Transphorm продемонстрировала результаты использования TRH3205WS в 3-киловаттном инверторе, измеренный пиковый КПД которого равнялся 98.8% при частоте переключения 100 кГц и превышал 99% при частоте 50 кГц.

В последние несколько лет полупроводниковые приборы на основе GaN стали превра-

щаться в ведущую технологическую основу для следующего поколения компактных, энергоэффективных систем преобразования энергии – от ультраминиатюрных сетевых адаптеров и источников питания с высокой плотностью мощности, устанавливаемых в ПК, серверы и телекоммуникационное оборудование, до высокоэффективных солнечных инверторов и систем позиционирования. «Расширение рыночной ниши Transphorm за счет этих новых GaN продуктов, наряду с появившимся доступом к более высококачественным производственным мощностям, позволяет нам удовлетворять растущих спрос потребителей во всем мире», – сказал президент и соучредитель Transphorm Примит Пэрих (Primit Parikh).

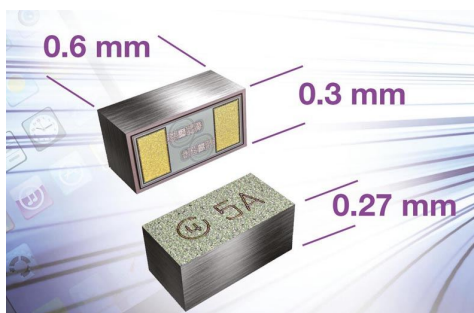
Пока разработчикам доступны лишь инженерные образцы новых транзисторов, но в самое ближайшее время компания Transphorm приступит к их серийному производству.

## Vishay Intertechnology выпускает миниатюрный защитный диод со сверхнизкой емкостью для устройств портативной электроники

*Устройство в миниатюрном корпусе CLP0603 высотой 0.27 мм имеет типовую емкость всего 0.29 пФ*

Vishay Intertechnology выпустила новый двунаправленный симметричный защитный диод в сверхминиатюрном корпусе CLP0603. Прибор VBUS05B1-SD0 в корпусе размером 0.6 × 0.3 мм с высотой всего 0.27 мм, имеющий сверхнизкую емкость и ток утечки, предназначен для защиты от статического электричества высокоскоростных линий передачи данных и антенн в устройствах портативной электроники.

Имеющий размеры кристалла корпус 0603 диода VBUS05B1-SD0 является одним из



самых миниатюрных в индустрии, занимая на плате втрое меньше места, чем приборы в корпусах типоразмера 1006. Благодаря коротким выводам и малым размерам корпуса диоды имеют очень низкую паразитную индуктивность, позволяющую до минимума ограничивать выбросы на коротких фронтах импульсов, вызываемых электростатическими разрядами.

Благодаря сверхнизкой емкости, типовое значение которой равно 0.29 пФ, а максимальное – 0.4 пФ, VBUS05B1-SD0 может использоваться для защиты таких высокоскоростных портов, как HDMI, USB 3.0 и Thunderbolt в смартфонах, мобильных телефонах, цифровых камерах, MP3 плеерах и портативных игровых системах. Устройства имеют ток утечки менее 0.1 мкА при рабочем напряжении 5.5 В, типовое пробивное напряжение 8.8 В при токе 1 мА и максимальное напряжение фиксации 18 В при токе 2.5 А.

Уровень защиты от переходных процессов для одной линии данных соответствует стандарту IEC 61000-4-2 ±16 кВ (при контактном разряде и разряде через воздушный промежуток). По устойчивости к повышенной влажности устройства соответствуют уровню 4 стандарта J-STD-020, относятся к классу воспламеняемости UL 94 V-0 и выдерживают

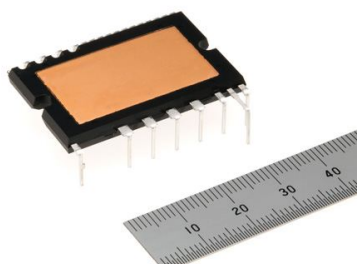
пайку оплавлением в течение 10 с при температуре +260 °С. Защитные диоды отвечают предписаниям директивы RoHS и не содержат галогенов.

Доступны как единичные образцы, так и промышленные партии новых диодов VBUS05B1-SD0. Срок выполнения крупных заказов составляет восемь недель.

## Mitsubishi Electric расширяет линейку силовых модулей тремя приборами с встроенными SJ-MOSFET

*Расширенная линейка продуктов позволит повысить энергоэффективность кондиционеров всего диапазона мощностей*

Mitsubishi Electric анонсировала три новых силовых полупроводниковых прибора, дополнивших линейку опрессованных модулей в корпусах Super-mini DIPMTM. В семейство интеллектуальных модулей на основе Super-Junction МОП транзисторов (SJ-MOSFET) вошли новые приборы 10 А/600 В и 20 А/600 В, а также переработанный вариант на 15 А с улучшенными характеристиками.



### Технические характеристики модулей

- Расширенная линейка модулей охватит весь имеющийся ряд мощностей кондиционеров
  - Новые модели 10 А/600 В и 20 А/600 В закроют потребности кондиционеров диапазона мощностей от 2.2 кВт до 8 кВт.

- Снижение расхода энергии в инверторных системах
  - Кристаллы SJ-MOSFET подвергаются специальной высокоточной обработке, позволяющей снизить потери мощности примерно на 14% по сравнению с существующими модулями Super-mini DIPMTM компании Mitsubishi Electric.
- Упрощение конструкции инверторных систем
  - Габариты и конфигурация выводов полностью совместимы с существующей серией PSSxx92x6 Ver.6, входящей в состав семейства Super-mini DIPMTM, выпускаемого Mitsubishi Electric.
  - Наличие встроенного ограничительно-го диода с токоограничивающим резистором позволяет уменьшить количество внешних компонентов.

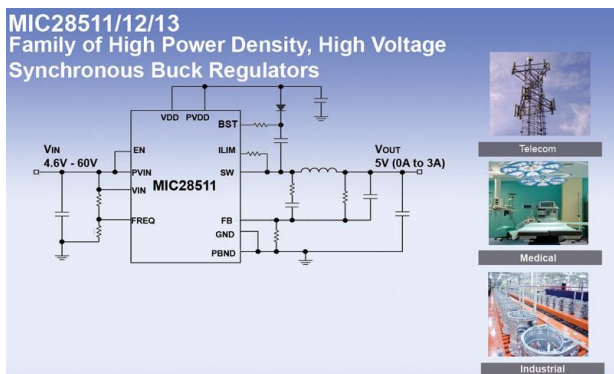
### График поставок модулей

Модель	Параметры	Начало поставок
PSM10S94F6	10 А/600 В	19 июня 2015
PSM15S94H6	15 А/600 В	22 мая 2015
PSM20S94H6	20 А/600 В	22 мая 2015

## Новые синхронные понижающие преобразователи Micrel остаются холодными при максимальном выходном токе

Micrel представила семейство совместимых по выводам микросхем высоковольтных синхронных понижающих импульсных преобразователей MIC28511/12/13 с интегрирован-

ными силовыми ключами, работающих в широком диапазоне входных напряжений от 4.6 В до 70 В и способных отдавать в нагрузку ток до 4 А (MIC28513). В приборах объедине-



ны два архитектурных решения Micrel – Hyper Speed Control и HyperLight Load, обеспечивающих эффективное получение низкого выходного напряжения из высокого входного, сверхвысокую скорость реакции на переходные процессы, очень хороший КПД при легких нагрузках и работоспособность при меньшей емкости выходного конденсатора. Эти устройства могут использоваться в разнообразных приложениях, включая средства управления производственными процессами, измерители уровня мощности, телекоммуникационные системы и медицинское

оборудование. MIC28511/12/13 выпускаются серийно и в партиях из 1000 приборов стоят \$1.49, \$1.85 и \$1.42 за штуку, соответственно.

Выходное напряжение MIC28511/12/13 устанавливается начиная от минимального значения 0.8 В с гарантированной точностью  $\pm 1\%$ . Постоянная частота переключения программируется в диапазоне от 200 кГц до 680 кГц, предоставляя разработчикам возможность гибкого выбора между использованием индуктивности меньшего размера при работе на высокой частоте или улучшением КПД на пониженных частотах. MIC28511/12/13 имеют полный набор обеспечивающих надежность системы защитных функций, включая блокировку при пониженном входном напряжении, внутренние цепи управления мягким запуском, поцикловое ограничение тока, переключение в режим «икания» при коротком замыкании и отключение при перегреве. Микросхемы рассчитаны на работу в диапазоне температур перехода от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выпускаются в миниатюрных 24-выводных корпусах FCQFN размером 3 мм  $\times$  4 мм.

## Seoul Semiconductor сообщает о доступности новых светодиодных модулей Acrich3

*Технология Acrich3 позволяет улучшить совместимость с существующими протоколами интеллектуального освещения и симисторными диммерами*

Seoul Semiconductor сообщила о доступности новых модулей Acrich3, предназначенных для широкого диапазона жилых и коммерческих светотехнических устройств. Решение Acrich3 для следующего поколения интеллектуальных систем освещения обеспечивает возможность взаимодействия с разнообразными беспроводными сетями и датчиками. Эта технология не требует сложных AC/DC преобразователей и, позволяя подключать модули непосредственно к сети переменного тока, упрощает конструкцию, уменьшает количество компонентов и повы-

шает надежность светильников. Модули имеют входы аналогового диммирования и отличаются от предыдущих поколений Acrich улучшенной совместимостью с существующими симисторными регуляторами, обеспечивая разработчикам светотехнических устройств простоту реализации самых передовых светотехнических решений и более плавное управление яркостью.

В новых модулях Acrich3 используется проверенная и надежная архитектура, основанная на высоковольтных светодиодах серии MJT компании Seoul Semiconductor. Модельный ряд модулей, различающихся светоотдачей и формой, рассчитан на самые разнообразные светотехнические приложения – от потолочных светильников до уличного и зонального освещения. Компания, выпускает модули с цветовой температурой от 2700К до 6500К и индексами цветопередачи 70, 80 и 90, имеющие типовую эффектив-



Светодиод MJT-5630.

ность до 100 лм/Вт при низких общих гармонических искажениях и большом коэффициенте мощности.

Директор по развитию Seoul Semiconductor Кибум Нам (Kibum Nam) сказал: «Созданные нашей компанией новые модули Acrich3 являются законченным решением для систем интеллектуального освещения. Технологией Acrich, впервые представленной в 2005 году, воспользовались разработчики всего мира, чтобы создавать инновационные решения для широкого спектра приложений в области коммерческого, жилого и промышленного освещения. В будущем Seoul Semiconductor планирует представить еще целый ряд продуктов для дальнейшего продвижения технологии Acrich».



*Модули Acrich3.*

## Ссылки по теме

1. [Краткое описание конструкции и особенностей светодиодных AC-LED модулей компании Seoul Semiconductor.](#)

# настоящее немецкое качество

**Testboy**  
GmbH, Germany

контрольно-  
измерительное  
оборудование

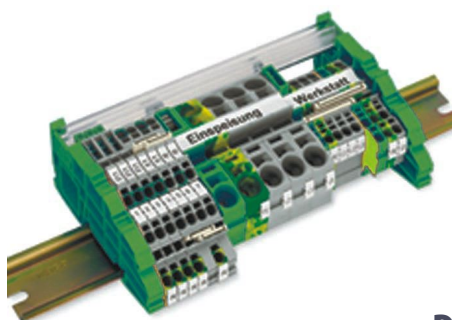


»»» **JOKARI**<sup>®</sup>  
original

инструмент для  
разделки кабеля  
и снятия изоляции



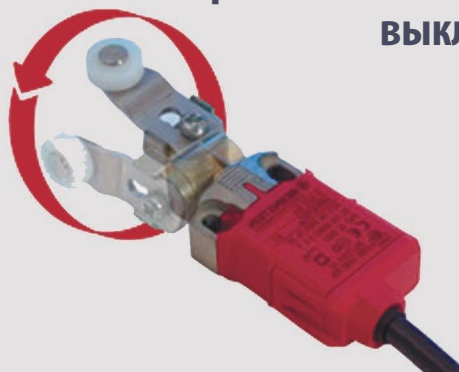
**WAGO**<sup>®</sup>  
INNOVATIVE CONNECTIONS



клеммы  
на DIN рейку  
и для печатных плат

**BERNSTEIN**  
safe solutions

промышленные корпуса  
выключатели  
датчики



**ДЕЦИМА**

ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ**

МОСКВА, ЗЕЛЕНОГРАД, +7(495) 988-4858

[WWW.DECIMA.RU](http://WWW.DECIMA.RU)



# Два новых устройства позволят изменить подход к конструированию генераторов сигналов

David Hunter, Analog Devices

Analog Dialogue

До сих пор самой сложной частью генератора сигналов произвольной формы считалась конструкция выходного каскада. Амплитуды выходных сигналов типичных генераторов находятся в диапазоне от 25 мВ до 5 В. В схеме драйвера 50-омной нагрузки разработчики использовали высококачественные дискретные устройства, большое количество включенных параллельно интегральных схем или дорогие специализированные микросхемы и тратили уйму времени на то, чтобы добиться устойчивой, качественной работы выходного каскада в широком программируемом диапазоне (Рисунок 1). Теперь же, благодаря развитию технологии, появились усилители, способные работать на такие нагрузки и позволяющие упростить выходной каскад, снизить его цену и ускорить выход конечного изделия на широкий рынок.

При использовании генераторов сигналов общего назначения необходимо ввести значение частоты, нажать кнопку, и прибор будет

готов к работе на новой частоте. Затем следует установить требуемый уровень выходной мощности, и нажать кнопку еще раз. Щелкнув реле, переключая внутренние цепи, и амплитуда выходного сигнала изменится. Эти периодически повторяющиеся действия приходится выполнять для того, чтобы компенсировать отсутствие широкого динамического диапазона. В статье предлагается новое архитектурное решение, позволяющее решить половину проблем, связанных с конструкцией выходного каскада.

Этот подход базируется на двух ключевых элементах: высококачественном, высоковольтном, быстродействующем выходном каскаде с большим допустимым током и усилителе с регулируемым коэффициентом усиления (VGA) и протяженным участком линейной перестройки на логарифмической шкале. Предлагаемая схема рассчитана на полосу 20 МГц и амплитуду сигнала 22.4 В (+39 дБм) на нагрузке 50 Ом (Рисунок 2).

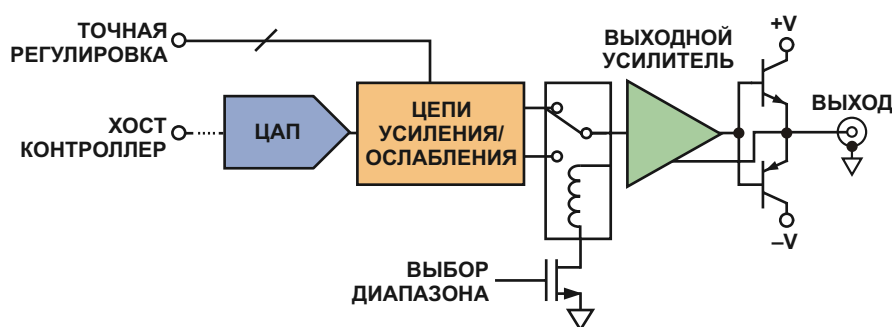


Рисунок 1. Типичная модель генератора сигналов.

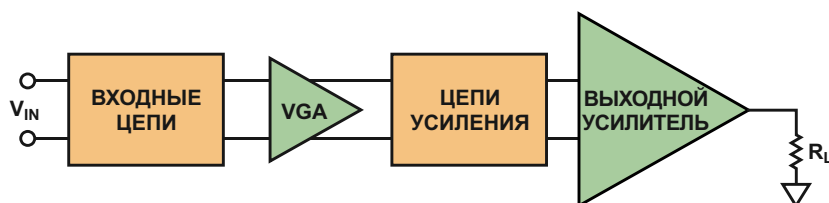


Рисунок 2. Этот выходной каскад генератора меньше и проще.

## Новый компактный выходной каскад

Исходный сигнал может поступать из цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), если требуется сигнал сложной формы, или из устройства прямого цифрового синтеза (DDS), когда необходимо сформировать синусоиду. В любом случае, его параметры и возможности управления мощностью могут быть неидеальными. Первым требованием является обеспечение ослабления или усиления сигнала с помощью VGA. Однако усиление многих VGA ограничено, и они достаточно редко подходят для рассматриваемого приложения.

Если на выходе VGA есть возможность установить необходимый уровень, то, независимо от величины сигнала на входе, на выходе может быть получена известная амплитуда. Например, если требуемая выходная амплитуда равна 2 В, а коэффициент усиления мощного выходного каскада равен 10, то на выходе VGA должен быть сигнал с амплитудой 0.2 В. При правильной конструкции выходного каскада амплитуда выходного сигнала будет в конечном счете определяться выходом VGA. К сожалению, узким местом здесь становится ограниченный диапазон программирования большинства VGA.

Типичный высококачественный генератор сигналов позволяет регулировать амплитуду выходного сигнала в диапазоне от 25 мВ до 5 В. Этот диапазон в 46 дБ превышает возможности большинства коммерчески доступных VGA. Микросхема AD8330 [1] была первым VGA, достигшим диапазона 50 дБ, но еще выше поднял планку усилитель AD8338 [2] – новый маломощный VGA с коэффициентом усиления, программируемым в диапазоне 80 дБ. В идеальных условиях это позволит изменять выходную амплитуду классического генератора сигналов от 0.5 мВ до 5 В без

использования реле или переключательных схем. В этом случае регулировка была бы непрерывной по всему диапазону, свободной от разрывов, обусловленных работой переключателей и реле. Кроме того, исключение из схемы реле увеличивает срок службы прибора и повышает его надежность.

Современные ЦАП и цифровые синтезаторы сигналов часто имеют дифференциальные выходы, вынуждающие разработчиков использовать трансформаторы и терять на этом половину сигнала по сравнению с несимметричным выходом, или же добавлять преобразователь симметричного сигнала в несимметричный. AD8338 позволяет создать естественный, полностью дифференциальный интерфейс источника сигнала, пример которого показан на Рисунке 3. Для чисто синусоидальных приложений ЦАП заменяют на DDS.

Важнейшей особенностью AD8338 является гибкий входной каскад. В качестве входного VGA эта микросхема управляет входными токами, используя топологию «H-amp», придуманную сотрудником Analog Devices Барри Гильбертом (Barrie Gilbert). В предлагаемой статье для балансировки входных токов используется обратная связь, сохраняющая потенциалы внутренних узлов на уровне 1.5 В. В нормальных условиях при входном сигнале с максимальной амплитудой 1.5 В через входные резисторы сопротивле-

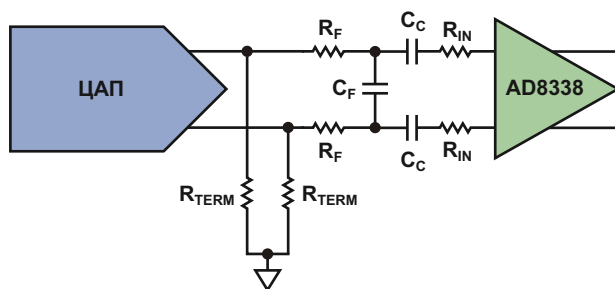


Рисунок 3. Пример схемы подключения ЦАП к микросхеме AD8338.

нием 500 Ом потечет ток 3 мА. Если амплитуда входного сигнала будет больше, скажем 15 В, для «прямого» подключения к токовым входам VGA сопротивления надо пересчитать так, чтобы получить тот же ток 3 мА:

$$\frac{15.00\text{В}}{3\text{ мА}} = 5\text{ кОм} \quad (1)$$

При несимметричном 15-вольтовом сигнале дифференциальное выходное напряжение будет равно 1.141 В. В этом случае при минимальном усилении AD8338 обеспечит ослабление 28.4 дБ, поэтому максимально возможное усиление будет равно +51.6 дБ. AD8338 – микросхема маломощная, и типичный размах напряжения на ее выходе при сопротивлении нагрузки 1 кОм составляет 1.5 В.

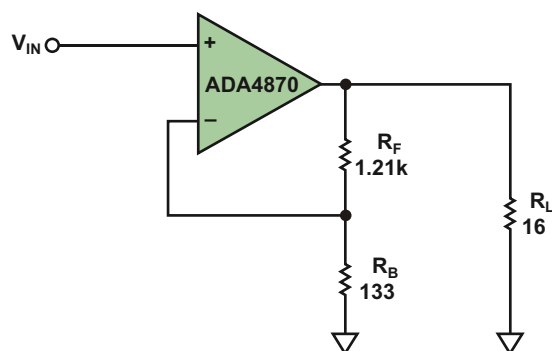
Исключительно ценной особенностью усилителя является то, что общий диапазон его коэффициентов усиления можно смещать в различные заданные точки. Прежде всего, определим выходное напряжение, необходимое для получения на выходе генератора сигнала максимальной мощности. Максимальная выходная мощность многих коммерческих генераторов равна лишь 250 мВт с.к.з. (+24 дБм) на нагрузке 50 Ом (при синусоидальном сигнале). Этого недостаточно для приложений, требующих большей выходной мощности, таких, например, как мощные высокочастотные усилители или ультразвуковые генераторы импульсов.

Последние достижения в технологии усилителей с обратной связью по току (current-feedback amplifier – CFA) снимают эту проблему. Микросхема CFA ADA4870 [3] в схеме с напряжением питания  $\pm 20$  В может отдавать в нагрузку ток 1 А при напряжении 17 В. В случае синусоидального сигнала и полной нагрузки усилитель способен работать на частотах до 23 МГц, что позволяет рассматривать его в качестве идеального законченного выходного драйвера для следующего поколения генераторов сигналов общего назначения.

В чувствительных к отражениям 50-омных системах для согласования ADA4870 с импедансом источника потребуются некоторые пассивные компоненты: последовательный резистор и радиочастотный автотрансформатор с соотношением витков 1.5:1. С запасом в 1 В можно получить пиковую выходную

мощность 8 Вт при эффективной нагрузке усилителя 16 Ом. Если же отражений не ожидается, согласующий резистор можно исключить, а соотношение витков автотрансформатора изменить на 0.77:1. Без резистора пиковая выходная мощность увеличивается до 16 Вт (амплитуда 28.3 В).

Для оптимизации размаха выходного сигнала коэффициент усиления ADA4870 установлен равным 10, поэтому требуемая амплитуда входного сигнала будет равна 1.6 В (Рисунок 4). ADA4870 имеет несимметричный вход, в то время как выход AD8338 дифференциальный, поэтому для преобразования дифференциального сигнала в несимметричный, а также для получения требуемого усиления используется дифференциальный приемник с линии AD8130 [4] со скоростью нарастания выходного напряжения 1090 В/мкс и произведением усиления на полосу пропускания, равным 270 МГц. Выходной сигнал AD8338 ограничен уровнем  $\pm 1.0$  В, следовательно AD8130 должен обеспечить промежуточное усиление, равное 1.6 В/В. Вместе три прибора образуют законченный выходной каскад генератора (Рисунок 5).



**Рисунок 4.** Основной вариант включения ADA4870 для нагрузки 16 Ом и коэффициента усиления 10.

Последними шагами, завершающими разработку схемы, должны быть конфигурирование входной цепи и расчет антиалязингового фильтра, а также конструирование выходной цепи для преобразования импеданса.

## Входная цепь AD8338

В рассматриваемой схеме дифференциальная амплитуда выходного сигнала будет равна  $\pm 1.0$  В. При использовании параметров по умолчанию – внутренних резисторов сопротивлением 500 Ом и максимального коэффициента усиления – соответствующая

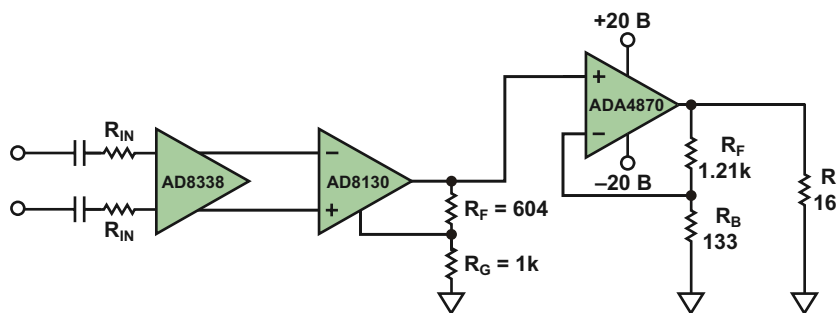


Рисунок 5. Выходной каскад генератора сигналов.

амплитуда входного сигнала должна равняться 100 мкВ. Подключив дополнительные резисторы напрямую к токовым входам, разработчик сможет выполнить это требование. Задаваемый этими входными резисторами диапазон изменения коэффициента усиления  $G$  рассчитывается по формуле

$$G(\text{дБ}) = 80(V_G \cdot 0.1) \cdot 20 \log \frac{19000}{R_P \cdot R_N} \quad (2)$$

где

$V_G$  – напряжение на входе управления усилением,

$R_P$  и  $R_N$  – сопротивления резисторов на неинвертирующем и инвертирующем входах AD8338, соответственно.

Использование на каждом из входов резисторов с сопротивлением 40.2 кОм обеспечивает хороший баланс между мощностью шумов и входным затуханием. При  $V_G = 1.1$  В (максимальное усиление), коэффициент усиления равен

$$G(\text{дБ}) = 80(V_G \cdot 0.1) \cdot 20 \log \frac{19000}{80400} \quad (3)$$

33.5 дБ.

В этом случае дифференциальному выходу потребуется всего 21 мВ.

Если  $V_G = 0.1$  В, усиление будет равно

$$G(\text{дБ}) = 0 \quad 12.5 \quad 34 \quad 46.5 \text{ дБ.} \quad (4)$$

При том же входном напряжении 21 мВ на выходе будет порядка 100 мкВ.

Перемножив коэффициенты усиления AD8130 и ADA4870, получим общее усиление, равное 24.1 дБ. Амплитуда выходного сигнала ADA4870 будет изменяться в диапазоне от 1.6 мВ до 16 В. На выходе после согласующего резистора и автотрансформатора напряжение будет изменяться от 2 мВ до 20 В.

При подключении AD8338 к таким устройствам, как DDS, необходимо принимать во внимание необходимость антиалиазинговой фильтрации и аттенюации входов. К примеру, дифференциальные выходы микросхемы DDS AD9834C [5] требуется подключать к земле через резисторы 200 Ом. На каждом из выходов формируется только половина синусоидального сигнала, как это показано на Рисунке 6.

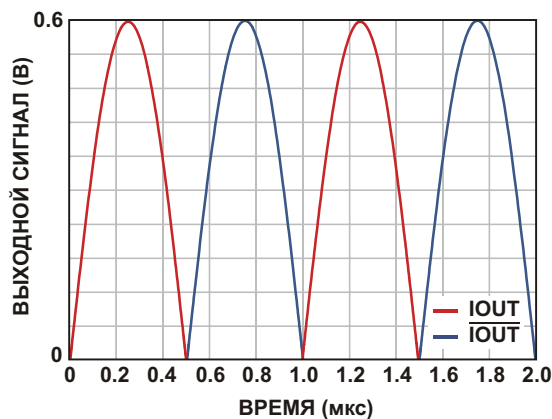


Рисунок 6. Размах напряжений на выходах  $I_{OUT}$  и  $\bar{I}_{OUT}$  микросхемы AD9834C. Артефакты, обусловленные наложением частот, не показаны.

Пиковое напряжение каждого выхода равно 0.6 В, что в совокупности определяет эффективное входное напряжение  $\pm 0.6$  В. Это значит, что необходимое ослабление составляет 26 дБ. Получить его так, чтобы одновременно обеспечить для AD9834C

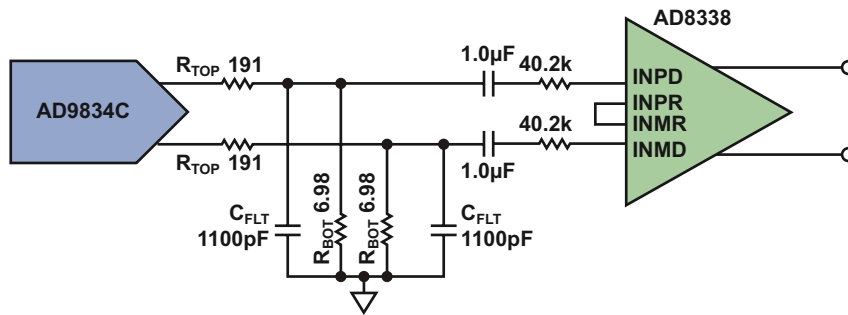


Рисунок 7. Схема соединения DDS, цепей ослабления и фильтрации и VGA AD8338.

нагрузку 200 Ом, можно с помощью простого резистивного делителя. Пиковая амплитуда сигнала на выходе делителя должна равняться 21 мВ:

$$0.021 = 0.6 \frac{R_{\text{БОТ}}}{R_{\text{ТОП}} + R_{\text{БОТ}}} ; \quad (5)$$

$R_{\text{ТОП}} = 193 \text{ Ом}$  и  $R_{\text{БОТ}} = 7 \text{ Ом}$ .

При использовании сопротивлений со стандартными значениями 6.98 Ом и 191 Ом ошибка составит 0.7%.

И, наконец, необходима определенная антиалайзиновая фильтрация. При быстродействии 75 млн. выборок в секунду частота Найквиста будет равна 37.5 МГц, что превышает максимальную рабочую частоту устройства 20 МГц. Чтобы частота среза антиалайзингового фильтра равнялась 20 МГц, потребуется конденсатор емкостью

$$C_{\text{FLT}} = \frac{1/R_{\text{БОТ}}}{2f} = \frac{0.142}{2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 1100 \text{ пФ}. \quad (6)$$

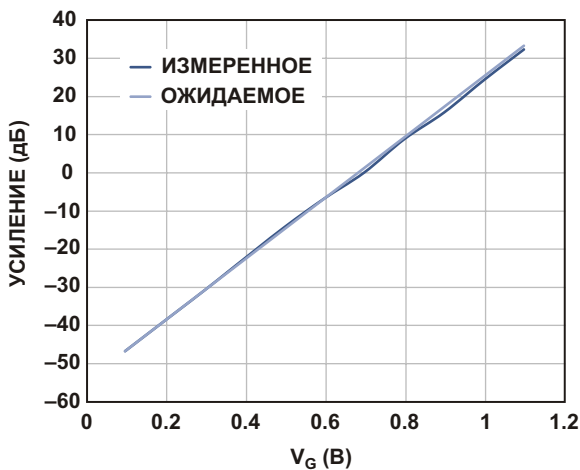


Рисунок 8. Сравнение расчетных и измеренных значений усиления VGA AD8338.

Эта емкость соответствует стандартному ряду номиналов. Окончательный вид схемы показан на Рисунке 7.

Каскад был собран и испытан. Результаты представлены на Рисунке 8, из которого видно, что отклонение коэффициента усиления от ожидаемого значения не превысило  $\pm 0.6 \text{ дБ}$ .

### Выходной каскад ADA4870

Окончательное усиление несимметричного сигнала с выхода AD8130 выполняет каскад на микросхеме ADA4870 с коэффициентом усиления 10. Для установки коэффициента усиления потребуются два резистора, при этом устойчивость каскада обеспечивается без внешних компонентов. Все, что останется сделать – подобрать выходную цепь в соответствии с требованиями конкретного приложения. Существуют три общих варианта реализации:

1. Прямой выход с усилителя на нагрузку 50 Ом
2. Последовательное согласование, автотрансформаторный выход на нагрузку 50 Ом
3. Без согласования, автотрансформаторный выход на нагрузку 50 Ом

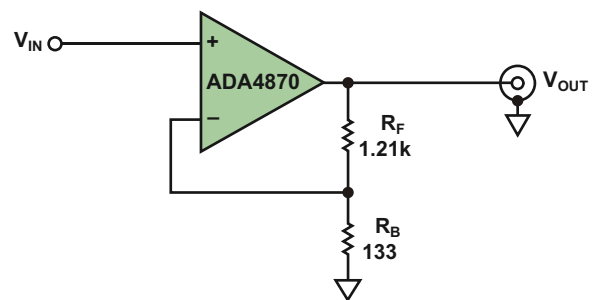
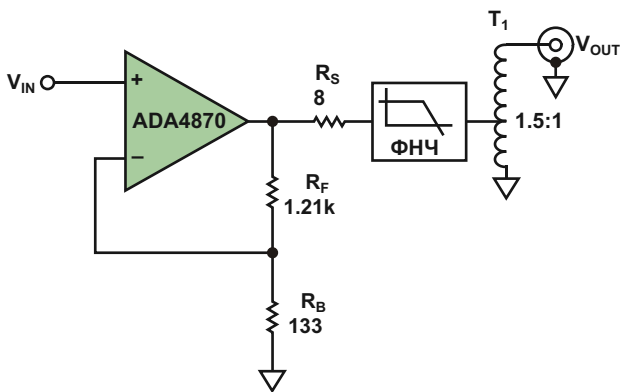


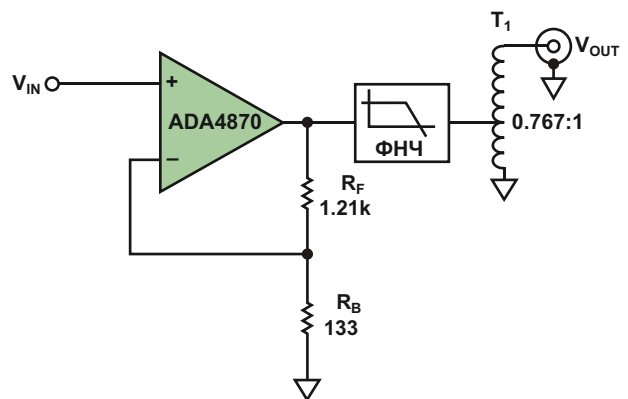
Рисунок 9. Схема соединений для прямого управления выходом.



**Рисунок 10.** Включение ADA4870 с выходными цепями последовательного согласования.

В первом варианте выход усилителя напрямую соединяется с выходным разъемом без использования каких-либо схем преобразования сигнала источника (Рисунок 9). Идеально подходящий лишь для случая, когда источник сигнала открыт для постоянного тока, этот метод не позволяет в полной мере использовать потенциал устройства, но, тем не менее, позволяет получить больше, чем 10 В, которые выдает на выходе типичный генератор сигналов. В этом случае максимальная пиковая мощность будет равна 5.12 Вт.

В варианте с последовательным согласованием 16-омная нагрузка распределяется между согласующим резистором 8 Ом и автотрансформатором 1.5:1 с входным фильтром (Рисунок 10). В этом режиме низкий импеданс устройства позволяет разработчику использовать индуктивности, номинал которых в 6.25 раз меньше, чем в схеме с 50-омным согласованием. Фильтр нижних частот и автотрансформатор преобразуют эффективный 8-омный импеданс источника в согласованное сопротивление 50 Ом. Поскольку здесь выходная мощность достигает

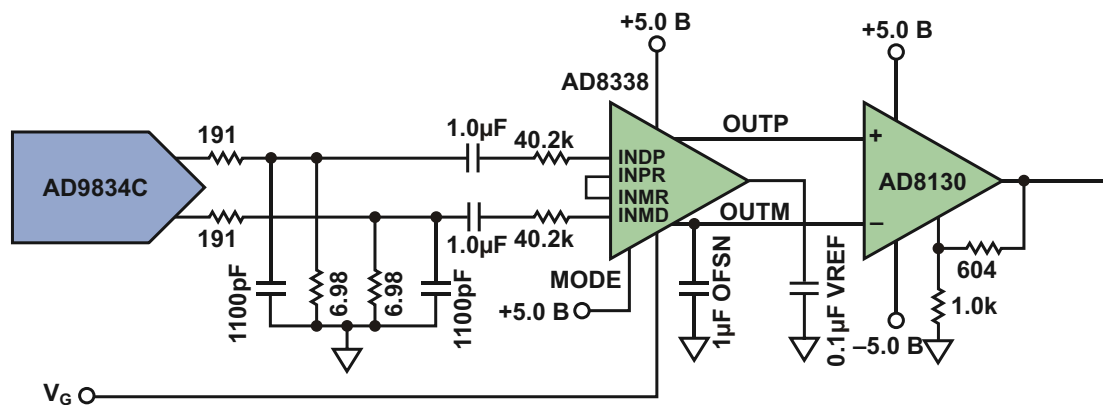


**Рисунок 11.** Соединения для получения оптимальной выходной мощности на согласованной нагрузке 50 Ом.

8 Вт, это вариант лучше подходит для приложений, требующих согласованного выхода 50 Ом из-за возможности возникновения отражений, например, при большой длине линий передачи.

### Любые отражения в рабочей полосе частот видят входной импеданс равным 50 Ом

В последнем, и, вероятно, наиболее подходящем для генераторов сигналов варианте, согласующий резистор 8 Ом исключен, что позволяет увеличить выходную мощность вдвое. Здесь, как показано на Рисунке 11, также рекомендуется использование многозвенного LC-фильтра, однако номиналы его элементов будут в 3.125 раза меньше, чем в схеме с 50-омным согласованием. В этом случае автотрансформатор должен иметь соотношение витков 0.77:1. Теперь пиковая амплитуда выходного сигнала будет равна 28.3 В, и ADA4870 будет отдавать в нагрузку 50 Ом мощность порядка 16 Вт (8 Вт с.к.з. или 39 дБм).

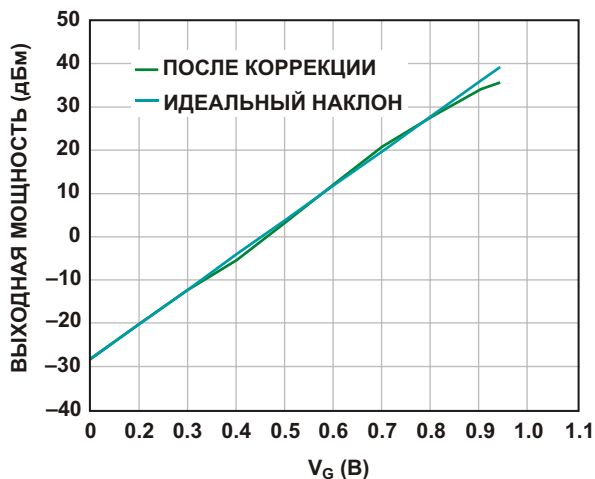


**Рисунок 12.** Упрощенная полная схема.

## Комплексное решение

Уравнения и модели не имеют никакого смысла, если в своей первооснове не отражают явления реального мира. Поэтому важно, построив законченную систему, измерить ее характеристики и сравнить их с ожидаемыми. На Рисунке 12 изображена работоспособная схема с цепями согласования выхода.

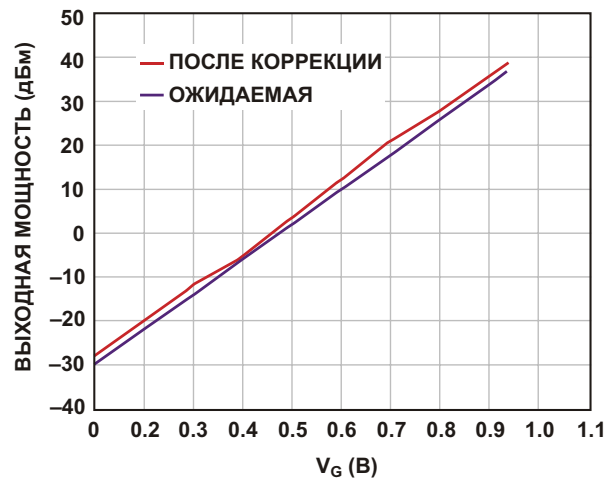
На Рисунке 13 отражены результаты измерений для случая схемы без фильтра. Отклонение усиления системы в худшем случае составляет  $\pm 1$  дБ при выходной мощности 2.75 Вт (5.5 Вт в пике), то есть, точка децибелной компрессии  $P_{1dB} = 34$  дБм. Обращает на себя внимание общий диапазон изменения коэффициента усиления, превысивший 62 дБ, что на 16 дБ больше, чем у многих стандартных генераторов.



**Рисунок 13.** В случае схемы с последовательным согласованием, но без фильтра,  $P_{1dB} = 34$  дБм. Частота сигнала равна 14.0956 МГц.

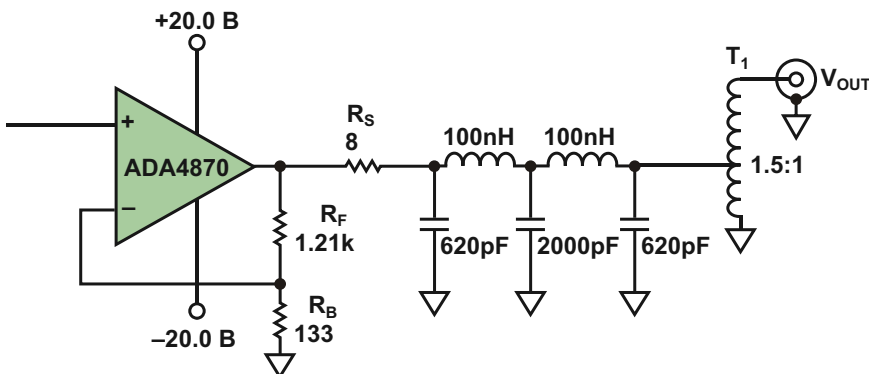
Дополнительно расширить диапазон усиления можно, повысив качество фильтрации

выходного сигнала DDS, а также снижением шумов системы. На Рисунке 14 показаны результаты тех же измерений при наличии фильтра. Качество отфильтрованного выходного сигнала улучшается, обеспечивая полную мощность +36 дБм на нагрузке 50 Ом. Общая погрешность линейности коэффициента усиления становится меньше (не более 0.65 дБ), причем ошибки наблюдаются только в средней части диапазона.



**Рисунок 14.** Выходная мощность схемы при использовании ФНЧ пятого порядка (частота среза 20 МГц). Частота сигнала равна 14.0956 МГц.

Если бы выходную мощность для определенных режимов работы потребовалось увеличить еще больше, можно было бы использовать несколько выходных усилителей, работающих на трансформатор, специально разработанный для данной схемы. Описанные здесь методы конструирования могут быть применены к системам с более низким напряжением питания, естественно, с учетом ограничений, диктуемых особенностями конкретных разрабатываемых устройств.



Заметьте, что верхняя граница измерений обрывается при  $V_G = 0.9375$  В. Это результат накопления ошибок входного аттенюатора и усиления. Погрешность можно скорректировать путем начальной подстройки схемы, учитывающей общие ошибки системы. После коррекции общий диапазон изменения коэффициента усиления системы вырос до 74 дБ.

## Заключение

Объединив в одной схеме высококачественные VGA и CFA, можно создать простой законченный выходной каскад для нового поколения генераторов сигналов. Высокая степень интеграции этих компонентов позволит сократить требуемую площадь печатной платы.

Для получения дополнительной универсальности можно использовать включенный в цепь обратной связи логарифмический усилитель, например, AD8310 [6]. С таким добавлением при использовании микросхемы DDS, подобной AD9834C, разработчик может реализовать различные формы управления огибающей, такие как частотная, амплитудная и фазовая манипуляция, а также предло-

жить бесчисленное количество других опций, поддерживаемых двумя новыми функциональными блоками. **РЛ**

## Ссылки

1. [Current Feedback Amplifiers.](#)
2. [Log Amps/Detectors.](#)
3. [Signal Synthesis.](#)
4. [Variable Gain Amplifiers \(VGA\).](#)
5. [MT-034 Tutorial. Current Feedback \(CFB\) Op Amps.](#)
6. [MT-057 Tutorial. High Speed Current Feedback Op Amps.](#)
7. [MT-060 Tutorial. Choosing Between Voltage Feedback and Current Feedback Op Amps.](#)
8. [MT-072 Tutorial. Precision Variable Gain Amplifiers.](#)
9. [MT-073 Tutorial. High Speed Variable Gain Amplifiers.](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices AD8330.](#)
2. [Datasheet Analog Devices AD8338.](#)
3. [Datasheet Analog Devices ADA4870.](#)
4. [Datasheet Analog Devices AD8130.](#)
5. [Datasheet Analog Devices AD9834C.](#)
6. [Datasheet Analog Devices AD8310.](#)

# АЕЕ — новая технология повышения КПД понижающих преобразователей при малых выходных напряжениях

Chris Glaser

Electronic Design

**Н**овый метод преобразования энергии, получивший название автоматическое повышение КПД (automatic efficiency enhancement – АЕЕ), при низких выходных напряжениях увеличивает эффективность источников питания в таких устройствах, как планшеты, серверы и твердотельные накопители.

Проблема, с которой сталкиваются все разработчики источников питания, связана со сложностью получения высокого КПД понижающих преобразователей при низких выходных напряжениях. К примеру, при выходном напряжении 3.3 В и максимальном токе нагрузки источник питания может иметь КПД, равный 91%, в то время как при 1.8 В – лишь 84%. Такое снижение КПД становится причиной повышения рабочих температур. А для портативных систем это приводит еще и к перерасходу энергии батареи. Очевидно, что рост рабочих температур или сокращение срока службы батареи крайне нежелательны для пользователей планшетов, серверов или твердотельных накопителей, в которых содержатся такие источники питания.

Для того, чтобы поддерживать высокую эффективность независимо от выходного напряжения, нужен новый способ преобразования энергии. Один из таких методов – АЕЕ (automatic efficiency enhancement – автоматическое повышение КПД) – в подобных системах способен обеспечить более высокий КПД при низких выходных напряжениях.

## Почему падает КПД?

Падение КПД напрямую связано с уменьшением количества выходной мощности, не сопровождающимся пропорциональным снижением потерь. Потери в понижающем преобразователе делятся на потери переключения и потери проводимости. Потери переключения зависят преимущественно от входного напряжения, выходного тока и рабочей частоты. Потери проводимости в основном определяются выходным током и сопротивлением MOSFET. Из-за малого вклада выходного напряжения в общий баланс потерь потери не уменьшаются в той же степени, в какой падает выходная мощность.

При снижении напряжения выхода уменьшается выходная мощность, равная произведению тока нагрузки на выходное напряжение. Ввиду того, что КПД определяется как выходная мощность, деленная на сумму выходной мощности и потерь, уменьшение выходной мощности при неизменных потерях приводит к снижению КПД. Например, источник питания с выходным напряжением 3.3 В и током нагрузки 6 А при потерях 2 Вт имеет КПД 91%. Если же на выходе того же источника установить напряжение 1.8 В, потери останутся примерно на прежнем уровне 2 Вт. В результате из-за уменьшения выходной мощности КПД снизится до 84%. А при выходном напряжении 0.9 В и тех же потерях 2 Вт КПД составит лишь 73%. В связи с тем, что в приведенном сравнении частота пере-

ключения, сопротивления MOSFET, выходной ток и входное напряжение оставались постоянными, в первом приближении можно считать, что потери также не менялись, и КПД упал на 7% и 18%, соответственно.

## Два способа увеличения КПД

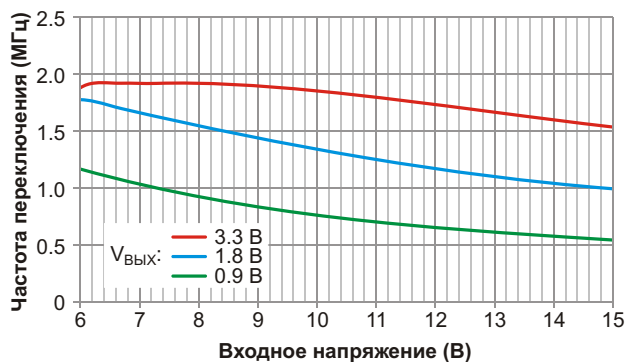
Значения входного напряжения и выходного тока определяются заданными характеристиками системы и нагрузки и не могут быть изменены. Чтобы повысить КПД своего устройства при пониженных входных напряжениях, разработчикам источников питания остается либо снижать частоту переключения, либо подбирать MOSFET с более низкими сопротивлениями открытого канала.

Возможности изменить значения сопротивлений MOSFET разработчики не имеют, поскольку в современных понижающих преобразователях MOSFET как верхнего, так и нижнего плеча интегрированы в микросхему. Хотя, в принципе, возможно использование несколько микросхем понижающих преобразователей, каждая из которых оптимизирована для определенного выходного напряжения, это очень непрактично с точки зрения конструкции микросхем. Поэтому таких приборов на рынке практически нет. Кроме того, подобный подход привел бы к расширению номенклатуры используемых ИС, что сделало бы конструкцию системы более сложной, а стоимость более высокой.

Снижение рабочей частоты уменьшает потери переключения и улучшает КПД. Во многих интегральных понижающих преобразователях предусмотрена возможность регулировки частоты. Однако изменение частоты переключения обычно влечет за собой необходимость перерасчета выходного фильтра и цепи частотной коррекции петли обратной связи. Это увеличивает сложность и время разработки и, с большой вероятностью, требует использования индивидуального набора компонентов для каждого выходного напряжения в системе. И, опять же, это приводит к росту затрат на комплектующие.

## Интеллектуальная подстройка частоты переключения с помощью АЕЕ

Без какого-либо вмешательства разработчика АЕЕ подстраивает частоту переключения таким образом, чтобы поддерживать



**Рисунок 1.** В двухфазном понижающем преобразователе TPS62180 для адаптации частоты переключения под входное и выходное напряжения используется АЕЕ.

высокий КПД при постоянных параметрах выходного фильтра и петли обратной связи. Частота переключения автоматически изменяется в соответствии с измеренными значениями входного и выходного напряжений, что позволяет максимизировать КПД без потери устойчивости контура управления и эффективности выходного фильтра. При этом не требуется устанавливать частоту в определенную рабочую точку, оптимизированную для конкретных режимов схемы — частота сама динамически подстраивает себя в процессе работы. На Рисунке 1 показаны зависимости частоты переключения от напряжения на входе, изменяющегося в диапазоне от 6 до 15 В, при выходных напряжениях 3.3, 1.8 и 0.9 В и токе нагрузки 6 А.

При снижении выходных напряжений частота переключения уменьшается, чтобы поддерживать соответствующее количество импульсов тока в индуктивности. В наиболее распространенных микросхемах понижающих преобразователей с ограничением пикового тока доступный выходной ток микросхемы определяется пиковым током катушки индуктивности.

Если уровень ограничения тока зафиксирован внутри микросхемы, пиковый ток индуктивности при максимальном выходном токе должен оставаться ниже этого порогового уровня. Поскольку пиковый ток индуктивности равен выходному току плюс половине импульсного тока индуктивности, импульсный ток должен поддерживаться на достаточно низком уровне. В противном случае ограничение тока наступает слишком рано, и микросхема не может отдавать требуемый выходной ток.

При снижении выходных напряжений импульсный ток индуктивности уже уменьшен до значения, определяемого Уравнением 1:

$$I_L = V_{OUT} \frac{1}{L} \frac{V_{OUT}/V_{IN}}{F_{SW}} \quad (1)$$

где

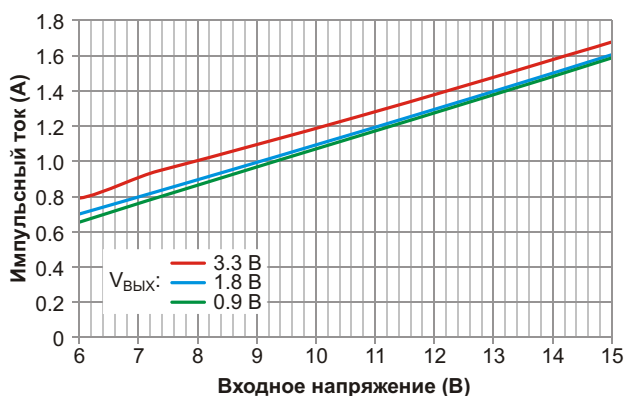
$V_{OUT}$  – выходное напряжение,

$V_{IN}$  – входное напряжение,

$L$  – индуктивность катушки,

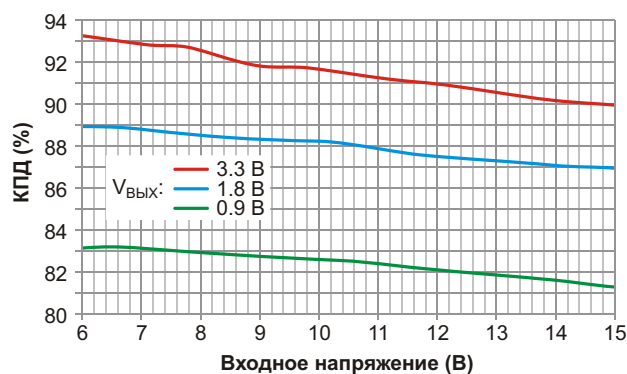
$F_{SW}$  – частота переключения.

Вследствие этого сокращения частота переключения также уменьшается с понижением выходных напряжений, увеличивая импульсный ток и возвращая его к разрешенному уровню. На Рисунке 2 представлены зависимости пульсаций тока от входного напряжения, рассчитанные на основании частотных зависимостей из Рисунка 1 и Уравнения 1.



**Рисунок 2.** При заданном входном напряжении АЕЕ обеспечивает независимость пульсаций выходного тока от выходного напряжения.

В заданной рабочей точке ток пульсаций практически не зависит от выходного напряжения. АЕЕ обеспечивает это снижением частоты по мере уменьшения выходных напряжений. Такое снижение сужает разрыв в КПД, возникающий при уменьшении выходного напряжения. Рисунок 3 иллюстрирует влияние АЕЕ на КПД преобразователя.



**Рисунок 3.** Благодаря функции АЕЕ КПД двухфазного понижающего преобразователя в меньшей степени зависит от снижения выходных напряжений.

Из-за того, что частота снижается вслед за выходным напряжением, уменьшаются потери переключения, а это, в свою очередь, сокращает и общие потери. Соответственно, увеличивается КПД – в отличие от большинства топологий преобразователей энергии, в которых для любых выходных напряжений поддерживается постоянная рабочая частота.

## Заключение

В таких понижающих DC/DC преобразователях, как TPS62180, при низких выходных напряжениях АЕЕ обеспечивает более высокий КПД, чем понижающие преобразователи с фиксированной рабочей частотой. Благодаря АЕЕ высокий КПД, равный 91% при выходном напряжении 3.3 В, остается высоким и при более низких напряжениях: 87.5% при выходном напряжении 1.8 В и 82% – при 0.9 В. Эти цифры означают, что по сравнению с фиксированной частотой преобразования выигрыш составил 3.5% и 9%, соответственно. Столь значительное улучшение эффективности имеет большое значение и для портативных устройств, таких как планшетные компьютеры, и для устройств, особо чувствительных к температуре, например, для серверов и твердотельных накопителей. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments TPS62180, TPS62182.](#)

# Эволюция и продукты компании Analog Devices.

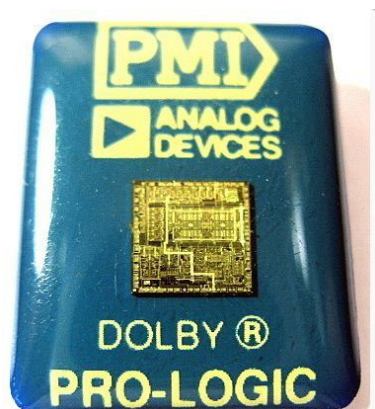
## Вклад Ричарда Бурвена, модульные ОУ и интегральные усилители

### Часть 2

Юрий Петропавловский

#### 1990-е годы

В августе 1990 года ADI приобрела известного производителя аналоговых микросхем Precision Monolithics (PMI, США). PMI выпускала микросхемы с префиксом SSM, DAC, (ЦАП DAC-01, DAC-100) и OP (ОУ OP-01, OP-77) для звуковых приложений высокого класса, а также декодеры многоканального звука Dolby Prologic (Рисунок 16). После продажи PMI стала подразделением Precision Monolithics of Analog Devices, выпускавшим продукты с собственными префиксами SSM и ЦАП по технологии TrimDAC.



**Рисунок 16.** Внешний вид микросхем декодера Dolby PRO-LOGIC фирмы PMI.

В 1991 году пост президента и главного исполнительного директора занял Джерри Фишман (Jerry Fishman, 1945-2013 г.г., Рису-



**Рисунок 17.** Президент и CEO Джерри Фишман.

нок 17), с именем которого связаны многие последующие успешные проекты и коммерческие достижения ADI. В 1993 году компания ввела стандарт QS-9000, регламентирующий требования к системе обеспечения качества производства и различные методики планирования и организации производства, большинство из которых внесено в современный международный стандарт ISO/TS16949. В том же году была образована группа по разработке ВЧ/СВЧ продуктов (RFG).

В 1994 году в компании образована группа по разработке микросхем управления питанием (PMG), целью которой была разработка микросхем энергоэффективных источников питания для мобильных телефонов, жестких дисков, автомобильной аппаратуры и других портативных устройств. В том же году начато строительство технологического центра разработок ADI, названное именем Рэя Стата (Ray Stata Technology Center) в городе Уилмингтон, штат Массачусетс. Строительство



**Рисунок 18.** Здание технологического центра Ray Stata Technology Center в Уилмингтоне.

было закончено в течение 11 месяцев. На Рисунке 18 показано главное здание центра.

В 1995 году компания вошла в проект строительства совместного предприятия с крупнейшим в мире контрактным производителем микросхем на полупроводниковых пластинах TSMC в городе Камас, штат Вашингтон. TSMC принадлежит несколько фабрик в г. Синьжун (Тайвань), в США, КНР, Южной Корее, Японии, Индии и Нидерландах. Предприятие в Камасе под названием Фабрика 11 изначально было ориентировано на производство 200-миллиметровых полупроводниковых пластин и запущено в 1996 г (Рисунок 19). Участие в капитале совместного предприятия позволило ADI обеспечить массовый выпуск микропроцессоров, DSP и других микросхем по самым передовым технологиям. В том же году была запущена новая фабрика ADI по производству микросхем смешанных сигналов в Ирландии.

Каталоги компании 1990-х годов насчитывают уже десятки страниц, номенклатура продуктов в категории усилителей так же весьма обширна. Рассмотрим некоторые инновационные микросхемы этого периода (из приведенных на исторической «оси времени»).

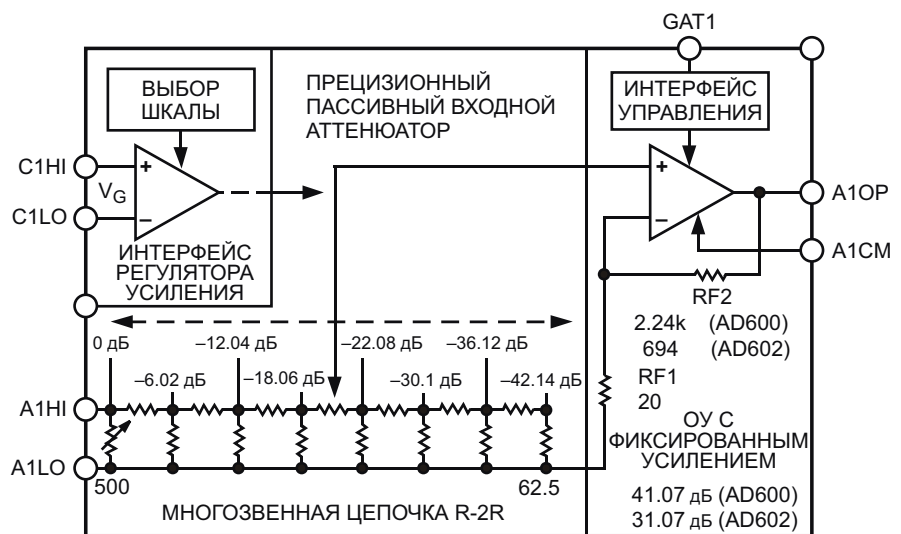
- AD745 (1991 г.) – быстродействующий ОУ с крайне низким уровнем шума и малым током смещения, выполненный на полевых транзисторах с управляющим каналом (JFET) во входных каскадах. Входной шум напряжения прибора не превышает



**Рисунок 19.** Вид на фабрику 11 компании TSMC в городе Камас (штат Вашингтон).

4 нВ/ Гц на частоте 10 кГц, полоса пропускания до 20 МГц, скорость нарастания выходного напряжения 12.5 В/мкс. Применение усилителя особенно полезно в схемах, в которых для работы со слабыми сигналами требуется высокий коэффициент усиления и широкая полоса.

- AD600, AD602 (1992 г.) – двоянные малошумящие широкополосные усилители с регулируемым коэффициентом усиления, которые фигурируют и в каталоге ADI 2015 года. Структура микросхем приведена на Рисунке 20. Основные особенности и параметры микросхем: независимая регулировка усиления каналов в диапазоне 0...40 дБ (AD600), -10...+30 дБ (AD602); точность установленного  $K_U$  –  $\pm 0.3$  дБ; уровень шума 1.4 нВ/ Гц; полоса пропускания до 35 МГц. Микросхемы могут применяться в качестве драйверов



**Рисунок 20.** Структура микросхем AD600, AD602.

быстродействующих АЦП, в высококачественной аудиоаппаратуре, схемах АРУ, ультразвуковой аппаратуре, сонарах и измерительных приборах.

- AD8001 (1994 г.) – широкополосный усилитель с выходной мощностью 50 мВт. Полоса пропускания усилителя по уровню  $-3$  дБ 880 МГц ( $K_U = +1$ ), 440 МГц ( $K_U = +2$ ); плоская АЧХ в диапазоне 0...100 МГц ( $K_U = +2$ , по уровню 0.1 дБ). Области применения микросхемы: драйверы АЦП, широкополосные видеоусилители, профессиональные видеокамеры, коммутаторы видеосигналов, приемники ВЧ сигналов.
- AD8011 (1995 г.) – широкополосный усилитель с малым энергопотреблением (1 мА/5 мВт при напряжении питания 5 В), полоса пропускания по уровню  $-3$  дБ 180 МГц (при  $K_U = +2$ ), плоская АЧХ в диапазоне 0...25 МГц ( $K_U = +2$ , неравномерность 0.1 дБ).

## 2000-е годы

К началу 21 века сферы деятельности компании значительно расширились по всем направлениям – номенклатуре и объему производства, количеству клиентов, числу приобретенных компаний и активов, географии дизайн-центров и представительств в различных регионах мира, численности персонала. В 2003 году Рэй Стата был награжден медалью основателей института инженеров электротехники и электроники (IEEE) за лидерство в области электроники, технологических разработок, предпринимательства и управления. На Рисунке 21 показана медаль IEEE Founders с профилями основателей IEEE. В 2004 году журнал Electronic Business признал Джерри Фишмана гендиректором года за успехи в управлении компанией. (Объем продаж ADI в этом году превысил 2.6 млрд. долларов). Приведем некоторые инновационные продукты этого периода.

- AD8099 (2000 г.) – выпуском этой микросхемы компания задала новый стандарт ОУ, в которых одновременно улучшены все ключевые параметры: низкое напряжение питания, широкая полоса пропускания, низкий уровень шума и малое смещение. ОУ AD8099 имеет инновационную схему входного каскада с повышенной линейностью и малым шумом,



Рисунок 21. Медаль основателей IEEE Founders Medal.

что позволяет увеличить ширину полосы в режиме полной мощности при малых коэффициентах усиления и одновременно поддерживать высокую скорость нарастания сигнала. Такое сочетание параметров достигнуто за счет использования запатентованной технологии сверхбыстрых комплементарных биполярных транзисторов XFCB (Extra Fast Complementary Bipolar) следующего поколения. Микросхемы отличаются очень низким уровнем шума (0.95 нВ/ Гц, 2.6 пА/ Гц), малыми искажениями – вторая гармоника сигнала частотой 10 МГц ослаблена на 92 дБ, третья – на 105 дБ (при  $K_U = +2$ ), производство КУ на ширину полосы достигает 3.8 ГГц, полоса пропускания 700 МГц ( $K_U = +2$ ) и 550 МГц ( $K_U = +10$ ), скорость нарастания сигнала 550 В/мкс ( $K_U = +2$ ) и 1350 В/мкс

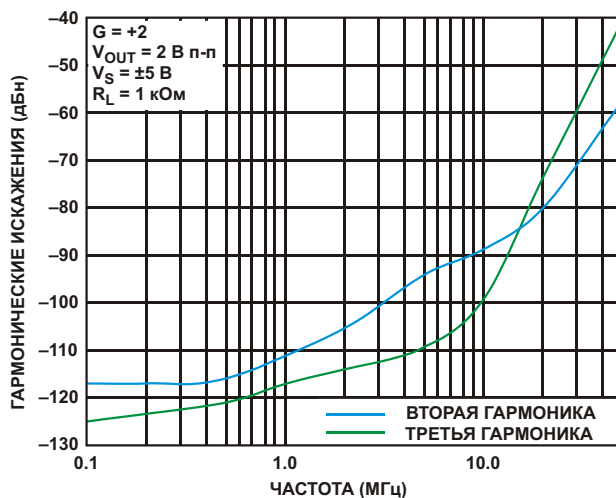


Рисунок 22. Зависимости уровней 2-й и 3-й гармоник на выходе микросхемы AD8099 от частоты.

( $K_U = +10$ ). Микросхемы выпускаются (и в настоящее время) в миниатюрных корпусах LFCSP (3 2.75 0.85 мм) и SOIC (4.9 3.9 1.35 мм). Высокая линейность усилителей иллюстрируется зависимостями уровней 2-й и 3-й гармоник от частоты, приведенными на Рисунке 22. Журналом EDN Magazine микросхема названа инновацией 2003 года в категории аналоговых микросхем.

- AD8661, AD8662, AD8664 (2004 г.) – одиночный, двоянный и счетверенный ОУ с однополярным питанием класса Rail-to-Rail. Для поддержания низкого напряжения смещения при производстве микросхем используется запатентованная технология подгонки параметров компонентов DigiTrim. Широкий диапазон напряжений питания соответствует требованиям, предъявляемым к высокопроизводительным АЦП и ЦАП. Микросхемы не генерируют низкочастотных помех типа «попкорн-шум», характерных для многих других усилителей с малым входным током смещения, что делает их привлекательными для применения в аудиосистемах и медицинском оборудовании контроля состояния пациентов. Основные параметры микросхем: напряжение питания 5...16 В (ток потребления 1.15 мА на усилитель), уровень шума 10 нВ/ Гц, полоса GBP 4 МГц.
- AD8331, AD8332, AD8334, AD8337 (2005 г.) – одинарные (AD8331, AD8337), двоянный (AD8332) и счетверенный (AD8334) усилители с регулируемым коэффициентом усиления. Микросхемы предназначены для применения в системах с эффективной АРУ, устройствах обработки квадратурных сигналов в телекоммуникационном оборудовании, ультразвуковых промышленных и медицинских системах и сонарах, приборах для позитронно-эмиссионной томографии, приемниках РЛС, видеоусилителях и драйверах АЦП. Основные особенности и параметры единичных усилителей (в скобках отличающиеся параметры AD8337): уровень шума 0.74 нВ/ Гц (2.2 нВ/ Гц), полоса пропускания по уровню –3 дБ 120 МГц (280 МГц), диапазон регулировки усиления –4.5...+43.5 дБ (0...24 дБ), напряжение питания +5 В (+5 В, ±2.5 В, ±5 В).

## 2010-годы и современные продукты

Руководство по выбору операционных усилителей ADI на 2011-2012 годы объемом более 70 страниц охватывает несколько сотен типов микросхем, условно разделенных на группы прецизионных ОУ с полосой пропускания менее и более 50 МГц. В руководстве также приведены рекомендации по выбору микросхем для различных областей применения, в том числе:

- Энергетические приложения: ветряные и солнечные электростанции, системы автоматизации и распределения электроэнергии – AD820/822/824, AD8622/8624, AD8512, AD8039, AD8092, AD8510/8512/8513, ADA4610-2, OP2177, OP4177.
- Управление питанием и привод двигателей – ADA4051, AD8667, AD8512, AD8620/8622/8624, AD8510/8513, AD8602/8604, ADA4000, ADA4096, ADA4528, OP1177/2177/4177.
- Телекоммуникации: драйверы АЦП, быстродействующие усилители. Для этих приложений рекомендовано около 20 типов усилителей, в том числе ADA4930-1/-2 – драйвер АЦП с напряжением питания 1.8 В; ADA4950-1/-2 – широкополосные малопотребляющие усилители с фиксированными  $K_U = 1, 2, 3$ ; ADA4960-1 – с полосой 5 ГГц и скоростью нарастания 8 кВ/мкс.
- Потребительские звуковые приложения: AD8597, AD8599, AD797 – маломушьящие предусилители; AD4004 – предусилитель с малыми искажениями; AD8510/12/13 – микрофонные усилители с малым потреблением; AD8627/46/47/48/91/92/94, ADA4075, ADA4692 – недорогие.
- Автомобильные приложения: автомобильная сенсорика, информационные панели и средства визуального контроля, современные системы содействия водителю, антиблокировочные системы тормозов. Для данных приложений рекомендовано более 100 типов микросхем ОУ со специальными автомобильными исполнениями по условиям эксплуатации [7].

Аналогичное руководство по выбору 2014 года кроме ОУ содержит и стандартные линейные схемы. В руководство вошло большинство микросхем из предыдущих выпусков. В руководстве продукты разбиты на сле-

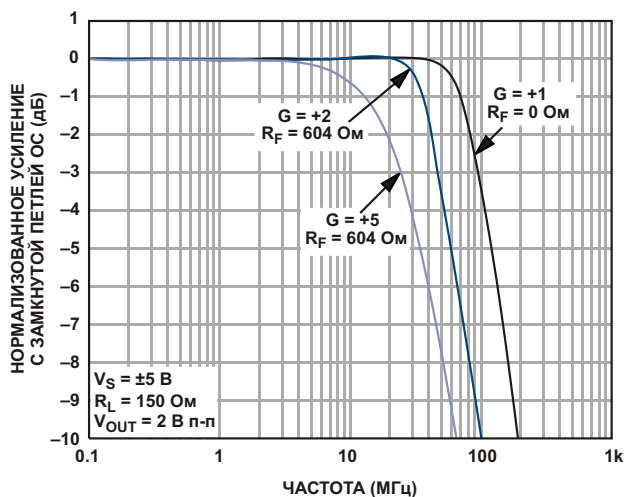
дующие категории и группы (в скобках приведены некоторые инновационные приборы):

- Прецизионные усилители (UCM менее 1 мВ, полоса пропускания до 50 МГц):
  - с нулевым дрейфом (Zero-Drift, ADA4528-1/-2 – напряжение смещения не более 2.5 мкВ);
  - с нулевыми искажениями при переходе через нуль (Zero Input Crossover Distortion, ADA4500-2 – подавление пульсаций напряжения питания не менее 98 дБ, ослабление синфазного сигнала не менее 95 дБ);
  - высоковольтные и с защитой от перенапряжений (AD4096-2/-4, ADA4700-1 – напряжение питания до 100 В);
  - с низким и сверхнизким смещением (AD4638-1, напряжение смещения не более 4 мкВ);
  - малопотребляющие (AD8657/8659 – ток потребления не более 18 мкА);
  - малозумящие (ADA4084-2/-4 – уровень шума 3.9 нВ/ Гц, ADA4004-1/-2/-4 – 1.8 нВ/ Гц);
  - с однополярным питанием и Rail-to-Rail (ADA4001-2);
  - бюджетные (ADA4666-2 – напряжение питания 3...18 В/725 мкА, полоса 4 МГц, ток смещения не более 15 пА; внешний вид показан на Рисунке 23).



**Рисунок 23.** Внешний вид микросхем ADA4666-2.

- Быстродействующие усилители (полоса пропускания более 50 МГц):
  - дифференциальные (ADA4940-1/-2, полоса 240 МГц, THD –122 дБ/1 кГц, шум 3.9 нВ Гц);
  - малозумящие с низкими искажениями (ADA4896-2, ADA-4897-1, шум 1нВ/ Гц, искажения –110 дБн/100 кГц, полоса 200 МГц/ $K_U = +1$ , напряжение питания 2.7...10 В/3 мА);



**Рисунок 24.** Нормализованные АЧХ микросхем ADA4891-1/-2/-3/-4.

- бюджетные (ADA4891-1/-2/-3/-4, Rail-to-Rail, полоса 200 МГц/ $K_U = 1$ , плоская АЧХ до 25 МГц/ $K_U = +2$ ; нормализованная АЧХ для различных  $K_U$  приведена на Рисунке 24);
- с выходами и входами Rail-to-Rail (ADA4805-1, Rail-to-Rail по входу/выходу при напряжении питания 2.7...10 В);
- с полевыми входами FET/FastFET (ADA4817-1/-2, входная емкость 1.3 пФ, ток смещения 2 пА, шум 4 нВ Гц, полоса 1050 МГц, скорость нарастания 870 В/мкс);
- с обратной связью по току (AD8000, полоса 1.5 ГГц/–3 дБ, скорость нарастания 4100 В/мкс, шум 1.6 нВ// Гц, напряжение смещения 1 мВ, максимальный выходной ток 100 мА);
- высоковольтные, с большим выходным током (ADA4870, напряжение питания 10...40 В, выходной ток до 1 А, полоса 45 МГц/–3 дБ, скорость нарастания 2500 В/мкс, шум 2.1 нВ/ Гц);
- инструментальные (AD8422,  $K_U = 1, 10, 100, 1000$ , полоса 2.2 МГц/ $K_U = 1$ );
- с регулируемым усилением (AD8338, усиление 0...80 дБ, полоса 18 МГц).
- Драйверы АЦП – в руководстве представлено около 40 типов усилителей с полосами пропускания от 5 МГц до 6.75 ГГц, скоростями нарастания от 10 В/мкс до 18 кВ/мкс. Из представленных микросхем можно подобрать подходящие варианты практически для любых АЦП ADI и других производителей.

По результатам 2012-2014 годов Analog Devices лидирует на рынках преобразователей данных и усилителей различного назначения. Более 9000 сотрудников, 5000 из которых инженеры, работают в десятках подразделений, дизайн-центрах и представительствах во многих странах мира, а также в офисах продаж в Москве и Санкт-Петербурге. Компания сотрудничает с более чем 60,000 потребителей практически во всех отраслях электронной промышленности. Совет директоров компании возглавляет Рэй Стата, а президентом и исполнительным директором назначен Винсент Роше (Vincent Roche) после смерти Джерри Фишмана, наступившей в феврале 2013 года в возрасте 67 лет.

Деятельность Analog Devices в России началась 20 лет назад, когда в 1994 году в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете (ЛЭТИ) был открыт совместный центр цифровых сигнальных процессоров – первый, созданный ADI в России. Центр, в котором занятия ведут преподаватели вуза, полностью оснащен оборудованием ADI. За 20 лет сотрудничества в центре повысили свою квалификацию более полутора тысяч специалистов из различных регионов страны, а обучение прошли около тысячи студентов ЛЭТИ [8].

Русскоязычный сайт Analog Devices является одним из самых информативных среди всех профильных ресурсов других иностранных полупроводниковых компаний, представленных в России. На сайте имеются материалы на русском языке, касающиеся не только особенностей продуктов ADI, но и рекомендации по применению микросхем, статьи по инженерному расчету схемотехнических решений, программные инструменты и ресурсы для САПР, а также многие другие материалы для инженеров, клиентов и всех желающих [9].

В декабре 2014 года ADI подписала дистрибьюторское соглашение с Российской компанией AUTECH Plus, по которому она получила статус официального дистрибьютора Analog Devices в России. Интересы ADI в РФ также представляют два других официальных дистрибьютора – ЭЛТЕХ и Аргуссофт [10]. **РЛ**

## Литература

7. [http://www.analog.com/static/imported-files/images/overviews/Operational\\_Amplifiers\\_Selection\\_Guide\\_2011-2012\\_FINAL.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/images/overviews/Operational_Amplifiers_Selection_Guide_2011-2012_FINAL.pdf)
8. <http://www.eltech.ru/ru/universitet/novosti-i-obyavleniya/analog-devices-leti-20-let-sotrudnichestva>
9. <http://www.analog.com/ru/index.html>
10. <http://www.radiant.su/rus/events/?action=show&id=738>

# Intel, Microsoft и Autodesk создают новую жизнь

R. Colin Johnson

EE Times

*Гиганты пытаются догнать Microbial Robotics*

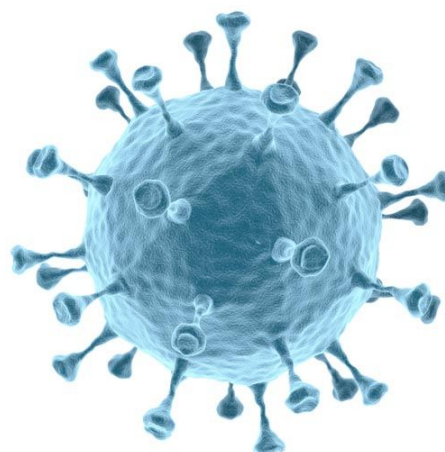
Intel, Microsoft и Autodesk тайком инвестируют в «программируемые» живые организмы – возможную точку слияния биологии с электроникой. При этом все три компании играют в догонялки с фирмой Microbial Robotics (Цинциннати, Огайо), которая уже усовершенствовала свои разработки ViruBots и VactoBots.

Основанные на программируемых живых организмах (вирусах и бактериях), ViruBots и VactoBots предназначены для выполнения гуманитарных задач, к которым их не привела эволюция, например, для удаления токсинов из сточных вод, отслеживания и уничтожения раковых (только) клеток, производства незагрязняющих видов топлива, разработки новых гибридных материалов. Microbial Robotics уже определила список из восьми компаний для вывода этих решений на рынок экологических и медицинских задач, однако Intel, Microsoft и Autodesk тоже ввязываются в драку, поскольку, по утверждению генерального директора Microbial Robotics Джейсона Баркелу (Jason Barkeloo), к 2028 году непрерывно сокращающиеся размеры элементов электроники достигнут минимума, и эпоха полупроводников закончится.

«Манипулирование парами оснований нуклеиновой кислоты (А, Т, С, G) в составе цепочек ДНК можно сравнить с двоичным программированием. Бактерии и вирусы являются аппаратной частью, ДНК представляет собой операционную систему, а гены – программное обеспечение», – сказал Баркелу.

Одним из уникальных нововведений, сделанных Microbial Robotics, стала живая форма технических средств защиты авторских прав (Digital Rights Management или DRM), которая была названа Gene Rights Management. GeRM добавляет необходимый для питания VactoBots и ViruBots продукт, являющийся молекулой-ключом и коммерческой тайной фирмы. Если этот ключ отсутствует, боты прекращают рост и воспроизводство, и, в конце концов, умирают.

Используя принципы синтетической биологии, обнаруженные лишь в 20 веке, Microbial Robotics дает инженерам возможность имитировать естественный отбор, программируя живые организмы за несколько



*Microbial Robotics также программирует живые вирусы для поиска и уничтожения опухолей и для выполнения еще множества других терапевтических или диагностических задач. (Источник: Microbial Robotics).*

нескольких месяцев, на что в природе ушли бы миллиарды лет. В конце концов, это позволит конструкторам создавать живые организмы практически с нуля (из простых органических веществ), но пока Microbial Robotics использует существующие бактерии и вирусы, в которые вживляет свои ДНК, чтобы они выполняли новые задачи, включая очистку воды, лечение заболеваний, производство незагрязняющего топлива, создание лекарств и разработку новых материалов.

Помимо этого, они будут продавать любой компании технологии и знания, необходимые для создания собственных ViruBots и VactoBots, и уже имеют несколько клиентов в различных частях мира. Пока эти клиенты придерживаются системы GeRM, их VactoBots и ViruBots защищены от краж (клонирования), но, к сожалению, не исключена возможность покупки компаниями интеллектуальной собственности Microbial Robotics, что позволит обойти систему GeRM. Кроме того, систему можно использовать для создания организмов с нуля и получать культуры на основе генетически модифицированных организмов (ГМО).

«Прямо сейчас мы не делаем ГМО для растений, только бактерии (VactoBots) и вирусы (ViruBots), сказал Баркелу. – Но до сих пор о создании организмов с нуля говорил только Крейг Вентер (Craig Venter). Кроме того, сейчас это представляет лишь академический интерес. Пройдет много времени, прежде чем это будет востребовано промышленностью. Гораздо легче изменять организмы, на что при естественном отборе понадобились бы миллионы лет. Мы просто настраиваем их на выполнение гуманитарных функций, используя то, что я называю "эволюционный инжиниринг"».

Microbial Robotics открыла ящик Пандоры, что не осталось незамеченным лидерами мира электроники – они решили объединить электронику с генетикой. Autodesk намеревается вступить в прямую конкуренцию с Microbial Robotics со своим проектом Project Cyborg, который только вступает в стадию бета-тестирования. В компании признали: Microbial Robotics продемонстрировала, что инструменты, которые Autodesk предоставляет инженерам-электронщикам, очень похожи на те, которые они могут предложить специалистам по генной инженерии.

Intel делает еще один шаг вперед, создавая систему, которая превращает ее инженеров-электронщиков в инженеров-генетиков. Первый проект Intel, названный Smart Wet Lab Assistant, в настоящее время разрабатывается в научно-техническом центре распределенных вычислений Intel в сотрудничестве с лабораторией синтетической биологии профессора Эрика Клавинса (Eric Klavins) при Вашингтонском университете (Сиэтл). Smart Wet Lab Assistant и его предшественник – проект Aquarium Клавинса – используют технологию Intel для записи каждого аспекта успешных экспериментов так, чтобы Intel могла научить своих инженеров-электронщиков еще и генной инженерии, причем в течение нескольких недель. По словам Клавинса, эти инструменты также позволят Intel точно воспроизвести свои результаты в программировании живых организмов для будущего использования в электронных устройствах в любом представительстве компании по всему миру.



*Smart Wet Lab Assistant создан в Научно-техническом центре распределенных вычислений Intel при Вашингтонском университете. (Источник: Вашингтонский университет).*

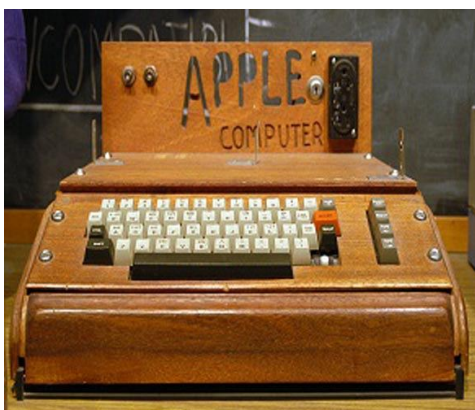
В свою очередь, Microsoft Research тоже создает собственный набор инструментов для генной инженерии над клетками. Microsoft не раскрывает карты, сообщая лишь, что планирует создать детальные симуляторы, использующие модульные биологические компоненты, в основном гены и белки, для создания новых организмов в интересах компаний, работающих в сферах промышленной биотехнологии и сельского хозяйства, где высокая прибыль, полученная благодаря новым гибридным электронно-биологическим организмам, в конечном итоге, может затмить ее успехи в области программного обеспечения для электроники. **РЛ**

## 1 апреля 1976 года было создана компания Apple Computer

Suzanne Deffree

EDN

**Х**оть это и был День дурака, но именно 1 апреля 1976 года Стив Джобс (Steve Jobs), Стив Возняк (Steve Wozniak) и Рональд Уэйн (Ronald Wayne) не шутили, собравшись вместе, чтобы создать фирму Apple Computer Inc и начать продажи наборов для сборки персонального компьютера Apple I.



Наборы, которые изготавливались Возняком вручную, впервые были показаны широкой публике на собрании Клуба создателей самодельных компьютеров (Homebrew Computer Club). Они поступили в продажу в июле 1976 года.

Apple будет зарегистрирована 3 января 1977 года, но уже без Уэйна, за \$800 продавшего свою долю акций обратно Джобсу и Возняку.

Несмотря на то, что некоторые продукты фирмы на протяжении многих лет так и не

были приняты потребителями, например, Apple III, долгосрочный успех компании не дает повода для смеха.



После первой публичной продажи акций, мгновенно породившей рекордное количество миллионеров, после серии взлетов и падений в 1980-е и 1990-е годы, Apple войдет в новое тысячелетие, которое принесет ей исключительный успех.

В январе 2007 года компания удалит из своего названия слово «Computer», чтобы отразить смещение фокуса своей деятельности в область потребительской электроники и решительно отодвинуть на второй план семейство компьютеров Mac.

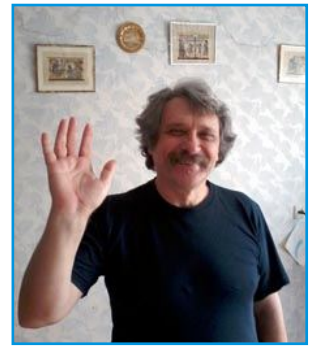
Растущий за счет продвигаемых по всему миру линеек iPod, iPhone и iPad, доход Apple



за 2012 финансовый год составил более \$156 млрд. В настоящее время в Apple работает более 72,800 штатных и 3300 временно занятых сотрудников.

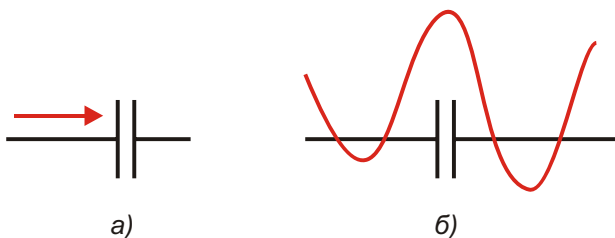
Сам бренд Apple, в целом, стал для потребителей синонимом простоты использования и является одной из самых известных электронных торговых марок в мире. **РЛ**

# Эта непостоянная постоянная составляющая: что делать?



Владимир Рентюк, Запорожье, Украина

Ситуация, когда в полезном сигнале имеется постоянная составляющая, достаточно обычна. Эта составляющая может быть представлена некоторым фиксированным смещением или иметь нестационарный, плавающий характер. Как правило, она является паразитной и мешает производить обработку полезного переменного сигнала. Таким образом, возникает необходимость ее устранения, и обычно для этого используется разделительный конденсатор. Безусловно, это самое распространенное решение, и сразу вспоминается шутка, которой маститые инженеры вводят в ступор новичков, задавая им простой вопрос: как быстро доказать, что конденсатор проводит переменный ток и не пропускает постоянный. И на все их долгие и пространные объяснения показывают свое (Рисунок 1).



**Рисунок 1.** Конденсатор для напряжения постоянного и переменного токов. Постоянный ток «уперся» в конденсатор и дальше пройти не может (а), а переменный его «обходит» (б).

Если бы все было настолько просто... Но вернемся к сути проблемы. Действительно,

первое, что приходит на ум –разделительный конденсатор. И это верно, но не всегда. Если по тем или иным причинам входное сопротивление каскада невелико, а диапазон рабочих частот составляет единицы или десятые доли герц, то потребуются разделительные конденсаторы большой емкости. Как правило, используются электролитические конденсаторы. Но здесь возникают уже совсем иные проблемы. Это габариты и связанная с этим проблема удара- и вибростойкости, токи утечки, шумы, чувствительность к внешним электромагнитным помехам, необходимость наличия поляризующего напряжения. И не просто, как некоторые думают, любого поляризующего напряжения – лишь бы оно было, что мы часто видим, и не только в радиолюбительской практике. А ведь нужно соблюдать заданное в спецификации соотношение между переменной и постоянной составляющими в области рабочих частот, если вы подходите к процессу проектирования должным образом, а не по принципу «оно же работает». Есть еще такая неприятность, о которой вспоминают, когда устройство уже собрано на плате, как заряд разделительного конденсатора и соответствующий этому переходной процесс. А ведь часто это – весьма ощутимый удар по всей схеме.

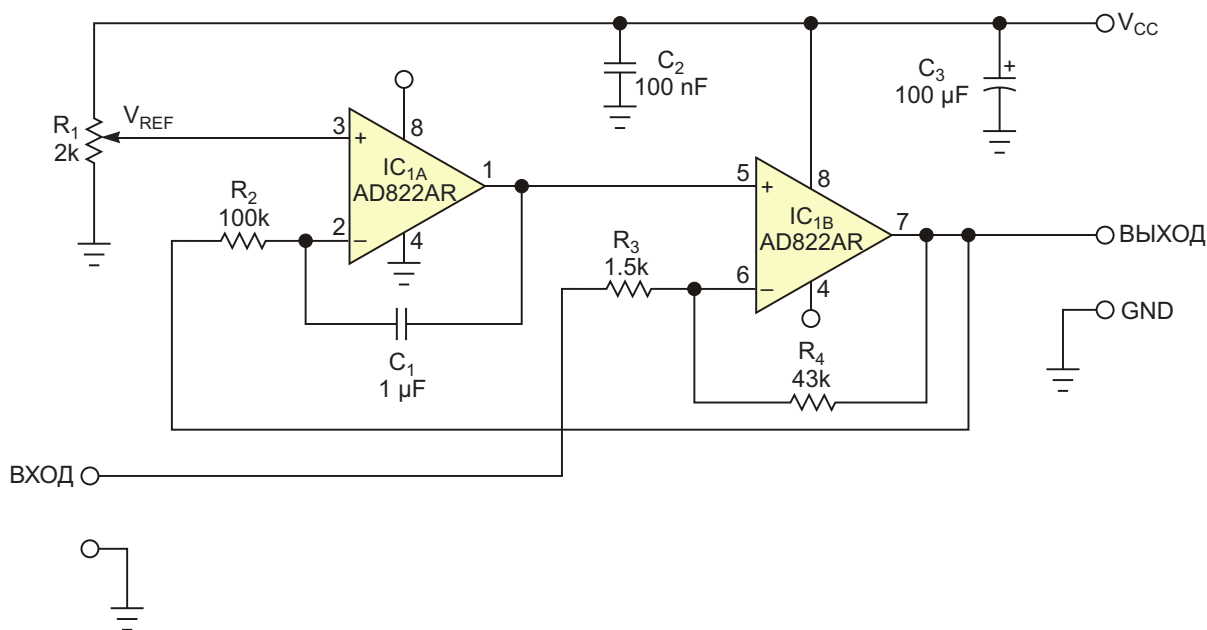
Если все изложенное является критичным, то на первый план выходит компенсация постоянной составляющей внешним смещением или задание строго необходимого при наличии некоторой постоянной составляющей в структуре сигнала. Подход хоро-

ший, но только если точно известно, какая она (постоянная составляющая) будет, и будет ли она постоянной. Причем, не только во времени, а и, в зависимости от внешних условий, как минимум, от температуры. Если не будет точной компенсации, то в случае, например, измерения среднеквадратичного значения сигнала, будет допущена ошибка. Еще один момент кроется в том, что если аналоговая часть, допустим некоторый масштабирующий усилитель, подключается на вход АЦП микроконтроллера, то для получения максимального динамического диапазона необходимо поднять аналоговый сигнал на величину напряжения, равную половине напряжения питания микроконтроллера или половине максимального номинального напряжения, допустимого для входа его АЦП.

Автору статьи пришлось однажды искать решение для, скажем так, «изделия специального назначения». В нем был блок обработки сигналов с большим динамическим диапазоном, поступающих с некоего сенсора через систему сложных, переключаемых в зависимости от ситуации фильтров. Причем спектр этого сигнала достаточно широк, а его низкочастотная составляющая могла лежать в области инфранизких частот. Вычислитель осуществлял контроль среднеквадратичного уровня сигнала и при его отклонении в пределах  $\pm 1\%$  выдавал некую очень важную коман-

ду. Кроме переменной составляющей, входной сигнал в своей структуре содержал еще и неизвестное по величине и меняющееся по уровню постоянное напряжение смещения. Вдобавок, на печатной плате не было лишнего места, и даже ее высота была ограничена, Ну и, коль это было «изделие специального назначения», то и требования к нему по ударо- и вибростойкости были специальные. Как видим, ни о каких разделительных конденсаторах или о подаче компенсирующего смещения речь даже не могла идти. Схемное решение, которое решило проблему такой необычной компенсации постоянной составляющей исходного сигнала (без разделительного конденсатора) и задания фиксированного и строго определенного смещения, приведено на Рисунке 2. Впервые в общем виде оно было опубликовано в [1].

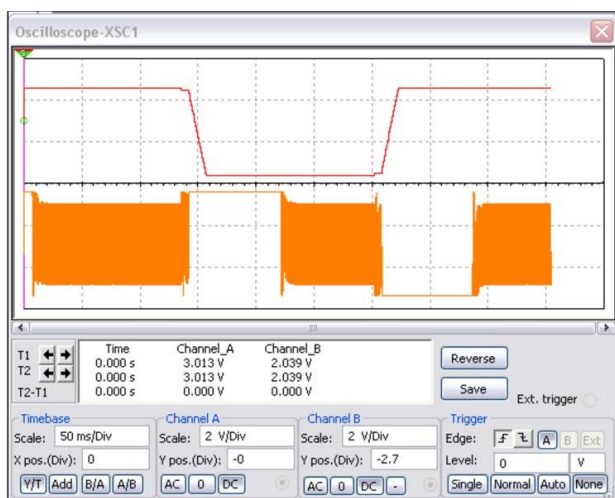
Для предлагаемой схемы желательно использовать операционный усилитель (ОУ) типа «rail-to-rail» по входу и выходу, естественно, допускающий включение в режиме с однополярным источником питания, например, AD822 [2]. Это увеличивает динамический диапазон компенсации постоянной составляющей входного напряжения. Заданная величина выходного смещения, не зависящая от величины постоянной составляющей в структуре сигнала, устанавливается подачей необходимого уровня опорного



**Рисунок 2.** Схема цепи ультразвукового сенсора, использующая компенсацию постоянной составляющей входного сигнала [1]

напряжения  $V_{REF}$ . На Рисунке 2 он формируется при помощи построочного резистора  $R_1$ , но этот резистор может быть заменен источником опорного напряжения или резистивным делителем. (Автором успешно использовались оба варианта). Как уже отмечалось выше, для получения максимального динамического диапазона выходной уровень опорного постоянного напряжения устанавливается равным половине напряжения питания  $V_{CC}$ . Усилитель, выполненный на ОУ  $IC_{1B}$ , усиливает и инвертирует высокочастотную составляющую напряжения входного сигнала с коэффициентом усиления равным  $R_4/R_3$ , обычным для схем усилителей на базе ОУ в инвертирующем включении.

Инвертирующий вычитающий интегратор, выполненный на ОУ  $IC_{1A}$ , обеспечивает компенсацию любого неподходящего для работы схемы напряжения смещения внутри контура отрицательной обратной связи. Переменная составляющая сигнала ослабляется выбором соответствующей постоянной времени интегратора  $R_2C_1$ , оставляя, таким образом, лишь усредненную постоянную составляющую смещения на выходе ОУ  $IC_{1B}$  ниже нижней граничной рабочей частоты входного сигнала. Это смещение выходного сигнала в рабочем диапазоне частот будет равно заданному уровню опорного напряжения. На Рисунке 2 показана временная диаграмма действия такой компенсации для случая ступенчатого изменения смещения постоянной составляющей во входном сигнале на величину 4 В. То есть, если учитывать коэффици-



**Рисунок 3.** Процесс компенсации ступеньки смещения входного напряжения в 4 В. Время установления менее 100 мс.

ент усиления схемы, приведенной на Рисунке 2, равный

$$k = \frac{R_4}{R_3} = \frac{43}{1.5} = 28.6,$$

это будет в условиях очень глубокого перерегулирования, как минимум в 29 дБ! Тем не менее, и это можно видеть из Рисунка 3, время установления предлагаемой схемы с учетом переходных процессов составляет менее 100 мс.

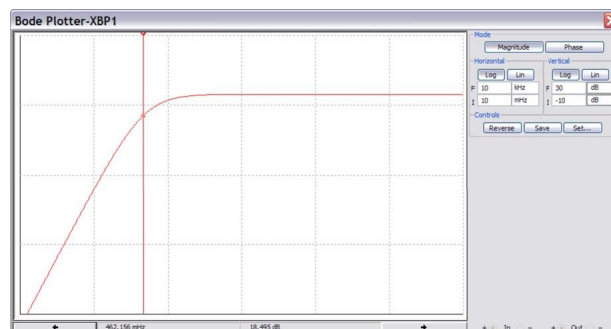
Рассмотренное схемотехническое решение имеет еще две дополнительные полезные области применения. Во-первых, это ФВЧ первого порядка без входных емкостей, в котором амплитудно-частотная характеристика имеет спад 6 дБ/октава с частотой среза по уровню  $-3$  дБ. Во-вторых, эта схема также может служить удобным в использовании дифференциатором (инвертирующим и без входного конденсатора) с реакцией на шаг ступенчатого изменения входного напряжения. Как известно, такие дифференциаторы являются потенциально неустойчивыми и, следовательно, не очень удобны в применении.

Нижняя частота среза схемы, приведенной на Рисунке 2, определяется по формуле:

$$f_c = \frac{1}{2 R_2 C_1} \frac{R_4}{R_3} \quad (1)$$

Формула получена в результате моделирования. Для значений элементов, приведенных на Рисунке 2, частота среза в области низких частот равна 47 Гц.

А где же обещанные инфранизкие частоты, спросит читатель? Заменяем элементы в интеграторе на  $R_2 = 2$  МОм и  $C_1 = 2.2$  мкФ и зададим



**Рисунок 4.** Амплитудно-частотная характеристика в области инфранизких частот.

коэффициент усиления, например, равный 12, то есть  $k = R_4/R_3 = 12$ . Это будет соответствовать той задаче, которую решал автор статьи в своем, упомянутом в начале статьи, проекте. Согласно формуле (1), имеем:

$$f_c = \frac{1}{2} \frac{R_4}{R_2 C_1 R_3} \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2.2 \cdot 10^{-6}} \cdot 12$$

0.44 Гц.

АЧХ такого варианта каскада приведена на Рисунке 4.

Как видим, все обошлось без нежелательного разделительного электролитического

конденсатора. В противном случае пришлось бы использовать электролитический конденсатор емкостью, как минимум, в 470 мкФ и, естественно, схему формирования сдвига выходного напряжения. Приведенное схемное решение было использовано автором в целом ряде проектов и ни разу не имело нареканий. **РЛ**

### Ссылки:

1. Vladimir Rentyuk «Use an integrator instead of coupling capacitors», EDN, February 16, 2012
2. AD822 Single-Supply, Rail-to-Rail Low Power FET-Input Op Amp, Analog Devices Inc., Rev1, 2010

# Как избежать ограничения сигнала в эмиттерном повторителе с емкостной развязкой нагрузки

Alex Rysin

Electronic Design

**В** этой статье анализируется причина, по которой при подключении нагрузки через разделительный конденсатор может ограничиваться отрицательная полуволна сигнала, а также описываются условия, соблюдение которых позволяет избежать этой нежелательной ситуации.

Один инженер обратился ко мне за помощью после того, как столкнулся со странным явлением при тестировании макета узла своей системы. Он обнаружил «загадочное» ограничение сигнала на выходе эмиттерного повторителя. Как он рассказывал, проверяя работу повторителя с более тяжелой, чем обычно, резистивной нагрузкой (с меньшим сопротивлением), он не обнаружил никаких видимых искажений. Однако, после подключения его макетной платы к системе, появилось значительное ограничение нижней полуволны сигнала.

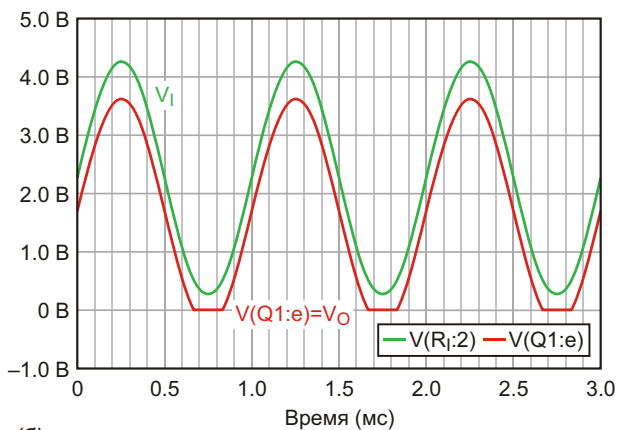
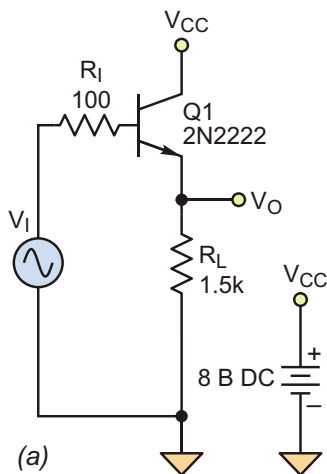
Глядя на схему, я увидел, что резистивный вход следующего устройства отвязан от повторителя конденсатором большой емкости. Я объяснил ему причину возникновения этого явления. Я понял также, что в отличие от чисто резистивной нагрузки, когда возможность возникновения ограничения сигнала достаточно очевидна, проблему, возникающую при подключении нагрузки через разделительный конденсатор, проектировщик может легко упустить из виду.

Однотранзисторный эмиттерный повторитель способен отдать столько вытекающего тока, сколько нужно нагрузке, разумеется, с учетом ограничений, накладываемых предельными параметрами транзистора. Однако

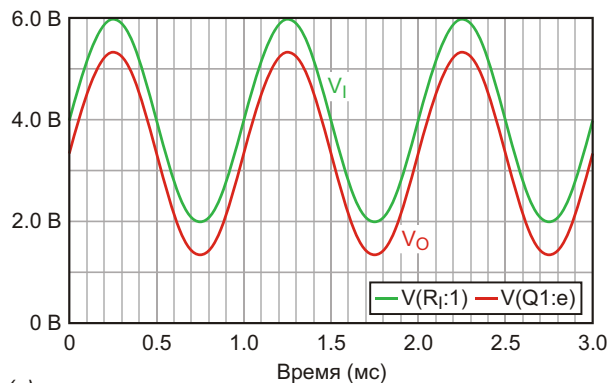
транзистор не может принимать втекающий ток. При подключении нагрузки к повторителю через разделительный конденсатор это может приводить к искажениям выходного сигнала из-за его ограничения по причинам, которые далеко не всегда очевидны.

Прежде всего, давайте посмотрим на простой эмиттерный повторитель на NPN транзисторе (Рисунок 1а) и на очевидные причины возможных искажений, обусловленных ограничением сигнала. Положительное ограничение выходного сигнала относительно  $V_{CC}$  произойдет, если большой входной сигнал превысит  $V_{CC}$  примерно на 0.7 В и откроет переход база-коллектор транзистора Q1 (в нашем случае используется распространенный 2N2222). Выше точки ограничения этот переход начинает работать подобно диоду, шунтируя сигнал на шину  $V_{CC}$ . Если ток этого диода не ограничить входным резистором  $R_1$  соответствующего номинала, транзистор может быть поврежден.

Ограничение снизу происходит на отрицательной полуволне входного сигнала, если его уровень сигнала на базе транзистора становится меньше примерно 0.7 В (напряжение  $V_{BE}$  транзистора). В этом случае переход база эмиттер транзистора смещается в обратном направлении, ток эмиттера  $I_E$  падает до нуля, и транзистор выключается. Вследствие этого нижняя часть выходного сигнала будет обрезаться на уровне нуля, пока входной сигнал не вернет транзистор в нормальный режим.



(б)



(в)

**Рисунок 1.** Для анализа использована простейшая схема эмиттерного повторителя на широко распространенном транзисторе 2N2222 (а). Когда входной сигнал (зеленый) падает ниже  $V_{BE}$ , выходной сигнал (красный) обрезается на уровне 0 В (б). При  $V_{OFF} = 4$  В ограничения сигнала не происходит (в).

Вблизи точки ограничения ток эмиттера  $I_E$  мал, и уровень общих гармонических искажений повторителя (THD) возрастает. В случае синусоидального входного сигнала, чтобы не

допустить ограничения, должно выполняться очевидное соотношение:

$$V_{OFF} + V_{AMPL} + V_{BE} > 0 \quad (1)$$

где

$V_{AMPL}$  – пиковая амплитуда,

$V_{OFF}$  – постоянное смещение входного синусоидального сигнала.

Описанное ограничение иллюстрируется результатами выполненного с помощью PSpice анализа переходных процессов в схеме при следующих значениях параметров:

- $V_{AMPL} = 2$  В,
- $V_{OFF} = 2.3$  В,
- частота сигнала 1 кГц.

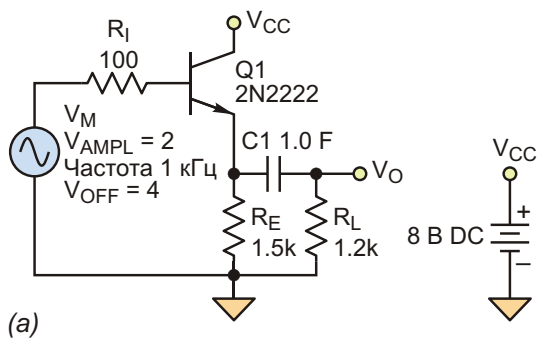
В этом случае  $V_{I\_MIN} = 0.3$  В, и моделирование показывает ограничение нижней полу волны выходного сигнала (Рисунок 1б).

На Рисунок 1в представлены результаты анализа той же схемы при  $V_{OFF} = 4$  В, что обеспечивало запас по уровню ограничения в 1.3 В. Теперь анализ переходных процессов показывает отсутствие ограничений или каких-либо иных заметных искажений выходного сигнала. Хотя, анализ Фурье в профиле моделирования показывает в выходном файле, что THD = 0.143%.

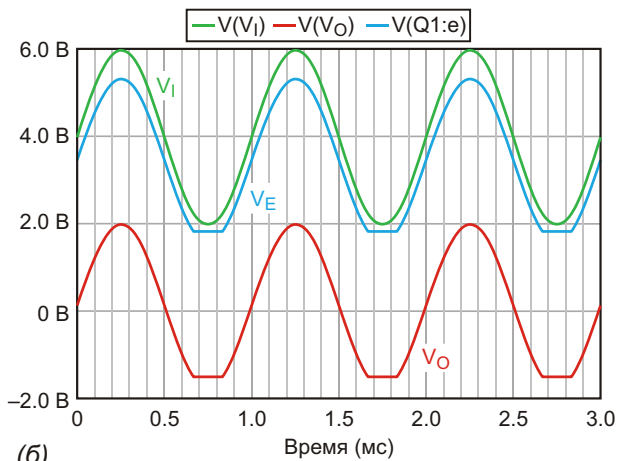
Увеличение нагрузки эмиттерного повторителя приводит к похожим результатам. Например, даже при  $R_E = 0.5$  кОм (что составляет одну треть от значения, использованного в модели), в схеме на Рисунок 2а заметные искажения на диаграмме не наблюдаются, и лишь THD слегка увеличивается от 0.143% до 0.145%.

Далее, через конденсатор подключим к выходу повторителя нагрузочный резистор  $R_L$ . Емкость конденсатора  $C1$  выбрана весьма большой (1 Ф), чтобы исключить возможность его вклада в искажения выходного сигнала по окончании переходного процесса. На первый взгляд, можно было бы ожидать того же результата моделирования, как и для схемы на Рисунок 1, но только без постоянной составляющей на  $R_L$ . Однако анализ переходного процесса показывает (Рисунок 2б) значительные ограничения сигналов на выходе и на эмиттере транзистора.

Этот неочевидный результат имеет простое объяснение. В отсутствие входного сигнала конденсатор  $C1$  заряжен до напряжения



(а)



(б)

**Рисунок 2.** В исходную схему эмиттерного повторителя добавлена емкостная развязка резистивной нагрузки. Включение развязывающего конденсатора между  $R_E$  и  $R_L$  приводит к значительным искажениям входного сигнала (зеленый), наблюдаемым на эмиттере транзистора (синий) на выходе повторителя (красный) (б).

на эмиттере Q1. Во время положительной полуволны  $V_{IN}$  ток эмиттера Q1 разделяется между  $R_E$  и  $R_L$  ( $I_{RE}$  и  $I_{RL}$ , соответственно). Максимальный уровень эмиттерного тока равен:

$$I_{E\_MAX} = \frac{V_{AMPL}}{R_E} + \frac{V_{OFF} - V_{BE}}{R_L} + \frac{V_{AMPL}}{R_L}$$

Однако во время отрицательной полуволны  $V_{IN}$ , когда ток  $I_{RE}$  все еще вытекает из транзистора Q1, то есть, когда величина тока уменьшается,  $I_{RL}$  направлен в противоположную сторону – в Q1 и вычитается из  $I_{RE}$ .

$$I_{E\_MIN} = \frac{V_{OFF} - V_{AMPL}}{R_E} + \frac{V_{BE} - V_{AMPL}}{R_L}$$

Если результат этого вычитания будет отрицательным, ток  $I_{E\_MIN}$  спадет до нуля, и выходной сигнал будет ограничен.

Причина, по которой  $I_{RL}$  течет обратно в Q1, также неочевидна. При отсутствии входного сигнала конденсатор C1 полностью заряжен. Постоянное напряжение  $V_E$  на его левой обкладке, превышающее по абсолютной величине минимальный уровень входного переменного сигнала ( $V_{AC\_AMPL} = 2$  В), в этом случае эквивалентно  $4 - 0.7 = 3.3$  В. Постоянная составляющая напряжения на правой обкладке конденсатора равна нулю.

Следовательно, во время отрицательной полуволны переменного напряжения падение напряжения на  $R_E$  повторяет входной сигнал, но из-за смещения всегда остается положительным. Текущая через  $R_E$  составляющая общего выходного тока равна напряжению на эмиттере Q1, деленному на  $R_E$ , и тоже положительна. Выходное напряжение  $V_O$  на верхнем по схеме выводе  $R_L$  также повторяет отрицательную полуволну входного сигнала, но постоянное смещение на нем равно нулю. Во время отрицательной полуволны оно тоже отрицательное. В этой области напряжение изменяется от нуля до отрицательного значения  $V_{AMPL}$ , из-за чего ток через  $R_L$  течет в противоположном направлении.  $I_{RL}$  здесь всегда меньше нуля.

Чтобы не столкнуться с проблемой ограничения, ток  $I_{E\_MIN}$  всегда должен быть больше нуля:

$$I_{E\_MIN} = \frac{V_{OFF} - V_{AMPL}}{R_E} + \frac{0.7 - V_{AMPL}}{R_L} > 0$$

или

$$\frac{V_{OFF} - V_{AMPL}}{R_E} > \frac{V_{AMPL} - 0.7}{R_L} \quad (2)$$

Таким образом, чтобы не допустить ограничения сигнала в однотранзисторном эмиттерном повторителе с емкостной развязкой резистивной нагрузки, три переменные из Уравнения (2) должны подчиняться следующим ограничениям:

$$V_{OFF\_MIN} = V_{AMPL} \left( 1 - \frac{R_E}{R_L} \right) > 0.7$$

или

$$V_{AMPL\_MAX} = (V_{OFF} - 0.7) \frac{R_L}{R_E}$$

или

$$R_{L\_MIN} = \frac{V_{AMPL}}{V_{OFF} - 0.7 V_{AMPL}} R_E,$$

и также из Уравнения 1:

$$V_{OFF} = V_{AMPL} \left( \frac{R_{L\_MIN}}{R_E} + 0.7 \right) \quad \text{РЛ}$$

## Ссылки

1. Alan B. Grebene, Bipolar and MOS analog integrated circuit design, Wiley - Interscience Publications, John Wiley & Sons.
2. Douglas Self, Small Signal Audio Design, Focal Press, 2010.
3. P. Horwitz, Winfield Hill; The Art of Electronics, Second Edition, Cambridge University Press, 1989.

# Малозумящий высоковольтный инвертирующий преобразователь с накачкой заряда

Marty Merchant, Linear Technology

Design Note 507

## Введение

Обычно для работы такой электроники, как операционные усилители, драйверы или датчики, нужны двуполярные источники питания, однако найти отрицательное напряжение в точке ввода питания можно нечасто. Микросхема LTC3260 представляет собой инвертирующий DC/DC преобразователь с накачкой заряда (безиндуктивный) с двумя малозумящими LDO стабилизаторами, способный вырабатывать положительные и отрицательные напряжения из входного напряжения 4.5 ... 32 В. Преобразователь может переключаться между высокоэффективным пульсирующим режимом и режимом фиксированной частоты, в котором существенно уменьшается уровень шумов, что делает микросхе-

му привлекательной для использования как в портативных, так и в чувствительных к шумам приложениях. LTC3260 выпускается в низкопрофильном корпусе DFN 3 × 4 мм со сниженным тепловым сопротивлением и позволяет создавать компактные решения с минимальным числом внешних компонентов. На Рисунке 1 показана типовая схема на основе LTC3260, преобразующая напряжение 12 В в  $\pm 5$  В.

## Инвертирующий преобразователь с накачкой заряда

С выхода инвертированного напряжения  $V_{OUT}$ , который одновременно является выходом зарядового насоса, LTC3260 может отдавать ток до 100 мА.  $V_{OUT}$  служит также источ-

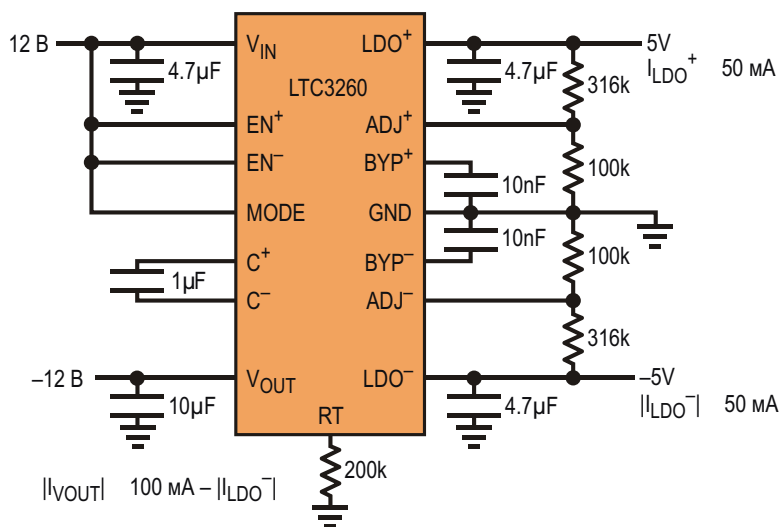
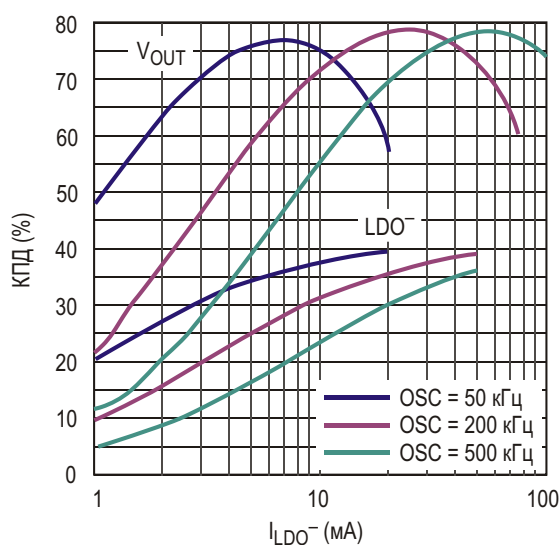


Рисунок 1. Типовая схема преобразователя напряжения 12 В в  $\pm 5$  В.

ником входного напряжения для LDO стабилизатора отрицательного напряжения ( $LDO^-$ ). Частота накачки с помощью единственного внешнего резистора может устанавливаться в диапазоне между 50 кГц и 500 кГц. Вывод MODE используется для переключения между высокоэффективным пульсирующим режимом и режимом фиксированной частоты со сниженным уровнем выходных пульсаций.

## Режим фиксированной частоты

Подключив к выводу RT резистор, рабочую частоту зарядового насоса можно установить постоянной. Если вывод RT заземлить, зарядовый насос будет работать на частоте 500 кГц, когда выходное сопротивление схемы при разомкнутой цепи ОС ( $R_{OL}$ ) и пульсации выходного напряжения оптимизированы, и при максимальной мощности в нагрузке пиковая амплитуда выходных пульсаций составляет всего несколько милливольт.



**Рисунок 2.** Зависимости КПД преобразования  $V_{IN}$  в  $V_{OUT}$  и  $V_{IN}$  в  $LDO^-$  для схемы, изображенной на Рисунке 1.

Как видно из Рисунка 2, КПД при легкой нагрузке можно увеличить, снизив рабочую частоту, но за это придется расплачиваться возросшими пульсациями выходного напряжения. Снижение рабочей частоты увеличивает  $R_{OL}$ , но сниженная частота переключения уменьшает входной ток, в результате чего при малых нагрузках КПД возрастает. Более того, при относительно больших нагрузках возросшее сопротивление  $R_{OL}$  уменьшает

эффективную разность напряжений между выводами  $V_{OUT}$  и  $LDO^-$ , снижая мощность, рассеиваемую в LDO стабилизаторе отрицательного напряжения. Совокупным результатом является более высокий КПД при больших входных напряжениях и/или облегченных нагрузках.

Снижение частоты приводит к росту выходных пульсаций, что следует из приведенного ниже выражения и иллюстрируется Рисунком 3.

$$V_{RIPPLE} = \frac{I_{OUT} t_{OFF}}{C_{OUT}},$$

где

$$t_{OFF} = \frac{1}{f_{OSC}} \approx 1 \text{ мкс}.$$

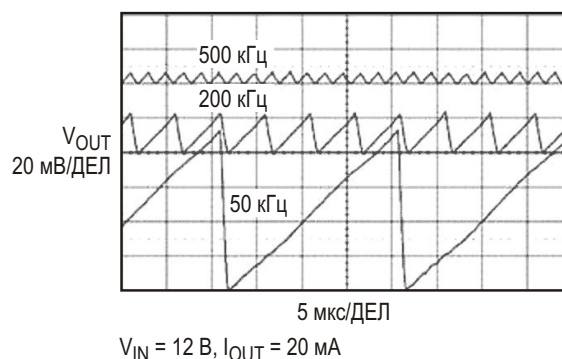
В приведенных формулах:

$V_{RIPPLE}$  — пиковая амплитуда пульсаций выходного напряжения,

$I_{OUT}$  — ток нагрузки,

$C_{OUT}$  — выходная емкость,

$f_{OSC}$  — рабочая частота.

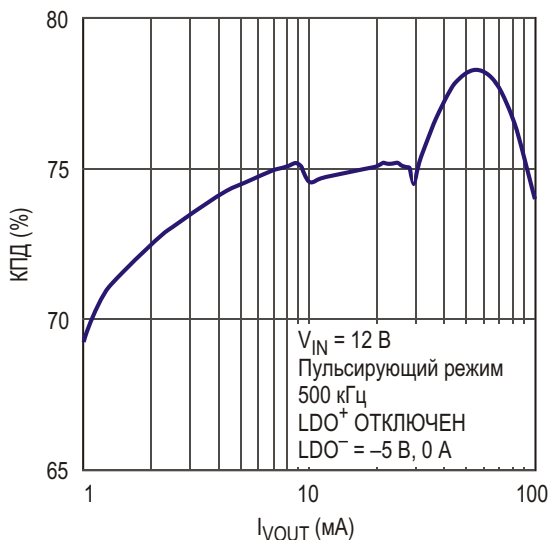


**Рисунок 3.** Сравнение пульсаций выходного напряжения для режима фиксированной частоты и тока нагрузки 20 мА при частотах переключения 500 кГц, 200 кГц и 50 кГц.

В общем случае, режим с фиксированной частотой подходит для приложений, требующих низких пульсаций выходных напряжений даже при легких нагрузках, однако, используя пульсирующий режим, КПД при малых токах можно повысить еще больше, о чем будет рассказано ниже.

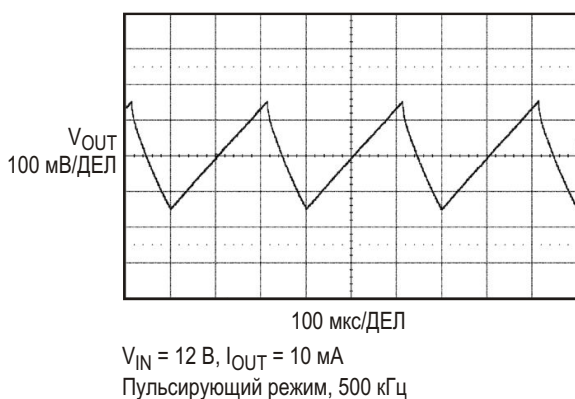
## Пульсирующий режим работы

На Рисунке 4 показана зависимость КПД LTC3260 от выходного тока при легкой нагрузке в пульсирующем режиме работы. По сравнению с режимом фиксированной частоты пульсирующий режим характеризуется увеличенным размахом выходных пульсаций, но, как можно увидеть из Рисунка 5, это увеличение составляет лишь небольшой процент от  $V_{IN}$ .



**Рисунок 4.** КПД при работе LTC3260 в пульсирующем режиме.

Переход в пульсирующий режим работы происходит тогда, когда  $V_{OUT}$  заряжается до напряжения, близкого к  $-V_{IN}$ . При этом LTC3260 переходит в состояние сна с малым током потребления порядка 100 мкА и остается в этом режиме до тех пор, пока выходное напряжение не опустится ниже порога гистерезиса пульсирующего режима. Все это



**Рисунок 5.** Пульсации выходного напряжения в пульсирующем режиме работы.

время LDO стабилизаторы остаются включенными. Затем зарядовый насос просыпается, и цикл повторяется. Среднее значение  $V_{OUT}$  составляет приблизительно  $-0.94V_{IN}$ . По мере увеличения нагрузки зарядовому насосу приходится включаться все чаще для сохранения режима стабилизации выхода. Если нагрузка становится достаточно большой, зарядовый насос автоматически переключается в режим фиксированной частоты.

## Два LDO стабилизатора

Оба LDO, содержащиеся в микросхеме LTC3260 – положительный, стабилизирующий напряжение  $V_{IN}$ , и отрицательный, подключенный к выводу  $V_{OUT}$ , – могут отдавать в нагрузку ток до 50 мА. При выходном токе 50 мА на регулирующих элементах каждого LDO падает напряжение 300 мВ. LDO имеют выводы установки, позволяющие задать уровень выходного напряжения с помощью простого резистивного делителя. LDO стабилизаторы имеют индивидуальные входы отключения. Вывод  $EN^-$  позволяет одновременно отключать инвертирующий зарядовый насос и  $LDO^-$ . Если запретить работу обоих стабилизаторов, микросхема выключится, и ее ток потребления снизится до 2 мкА. Дополнительное снижение шумов на выходах LDO стабилизаторов можно получить, зашунтировав конденсаторами выводы  $BYP^+$  и  $BYP^-$  источников опорного напряжения.

## Заключение

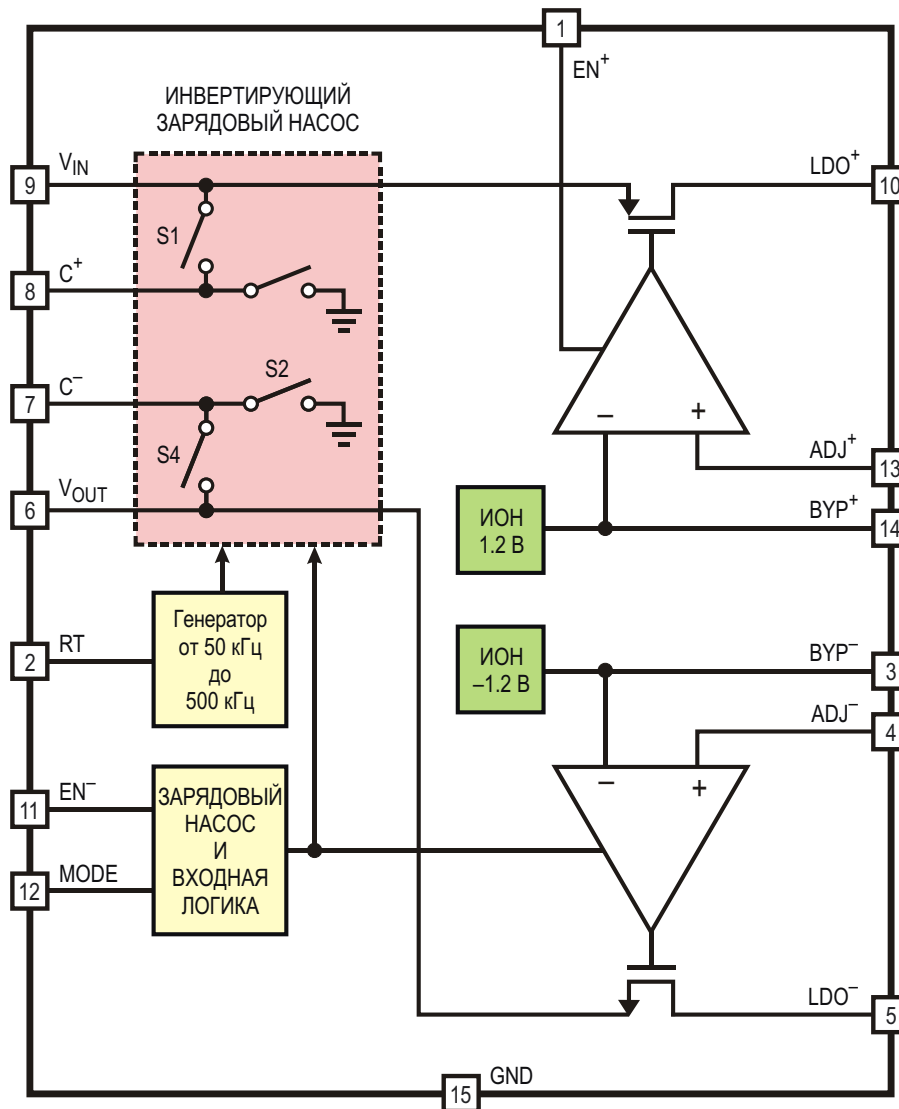
LTC3260 из одного входного напряжения вырабатывает положительное и отрицательное напряжения с низкими уровнями шумов. В LTC3260 предусмотрен дополнительный пульсирующий режим работы для облегченных нагрузок, полезный для устройств с батарейным питанием, а также режим фиксированной частоты переключения для приложений, чувствительных к шумам. Сочетание инвертирующего зарядового насоса и двух линейных LDO стабилизаторов напряжения позволяет создавать изящные решения для устройств с входными напряжениями от 4.5 В до 32 В. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTC3260.](#)

# Приложение

## Блок-схема микросхемы инвертирующего DC/DC преобразователя LTC3260



# Сдвоенный модуль регулятора напряжения с цифровым интерфейсом и выходными токами 13 А



Jian Li, Gina Le, Linear Technology

Design Note 524

## Цифровые системы управления питанием: задание, контроль, изменение и протоколирование параметров

При большом количестве шин питания управление потреблением мощности на печатных платах превращается в сложную задачу, требующую ручных измерений с помощью цифровых вольтметров и осциллографов, а нередко и доработки печатной платы. Для того чтобы сделать управление питанием более простым, особенно в тех случаях, когда управляющий контроллер

удален от потребителей энергии, в последнее время все чаще используются решения с управлением по цифровой коммуникационной шине. Цифровая система управления питанием позволяет удаленно задавать, контролировать, изменять и протоколировать параметры источника.

## Сдвоенный регулятор μModule с высокой точностью установки и измерения параметров питания

LTM4676 представляет собой микромодуль (μModule), содержащий два DC/DC пре-

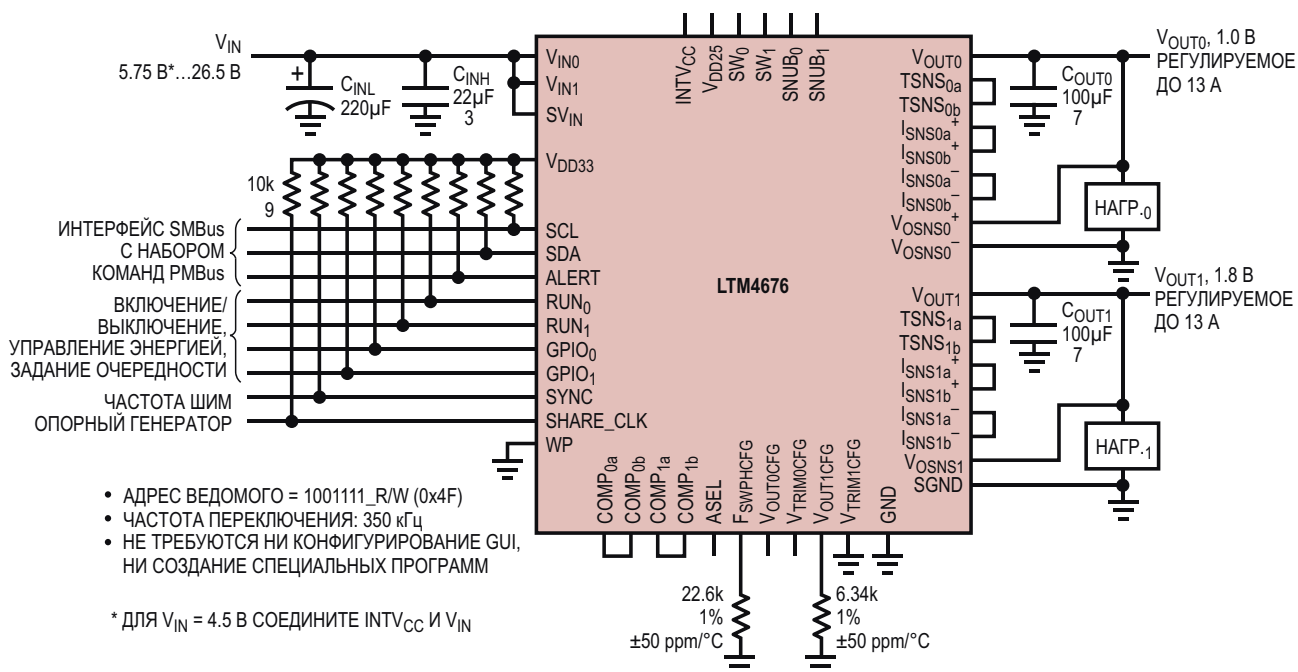
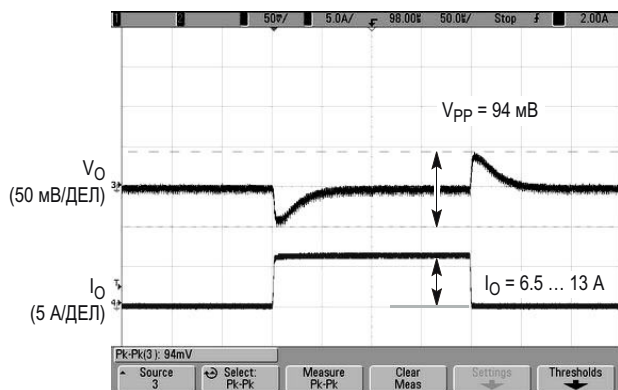


Рисунок 1. LTM4676: двухканальный стабилизатор напряжения μModule с выходными токами 13 А и интерфейсом PMBus.

образователя с постоянной частотой переключения и выходными токами 13 А (Рисунок 1). LTM4676 могут не только обеспечивать питанием точки приложения нагрузки и легко конфигурироваться под различные задачи, но и осуществлять телеметрический контроль параметров питания, передавая информацию через шину PMBus – открытый стандарт, основанный на цифровом последовательном интерфейсном протоколе I<sup>2</sup>C. В модуле LTM4676 объединены лучшие в своем классе аналоговые импульсные регуляторы и высокоточные схемы смешанных сигналов для обработки данных. Во всем диапазоне рабочих температур перехода от –40 °С до 125 °С погрешность стабилизации выходного напряжения не превышает ±1%, а точность измерения тока составляет ±2.5%. В модуль интегрированы 16-битный дельта-сигма АЦП и EEPROM.

Последовательный двухпроводный интерфейс модуля LTM4676 позволяет устанавливать точные уровни или предельные границы выходного напряжения, программировать скорости его нарастания и спада, а также задавать очередность и задержки включения каналов. С помощью интерфейса можно считывать величины входных и выходных токов и напряжений, выходную мощность, температуру, время работы устройства и пиковые значения. Устройство состоит из двух быстродействующих аналоговых контуров управления, точных цифро-аналоговых цепей, EEPROM, силовых MOSFET, катушек индуктивности и дополнительных компонентов, размещенных в корпусе размером 16 16 5.01 мм.



**Рисунок 2.** Переходная характеристика LTM4676 в схеме, изображенной на Рисунке 1, при  $V_{IN} = 12 В$ ,  $V_{OUT1} = 1.8 В$ ,  $I_O = 6.5 А \dots 13 А$ .

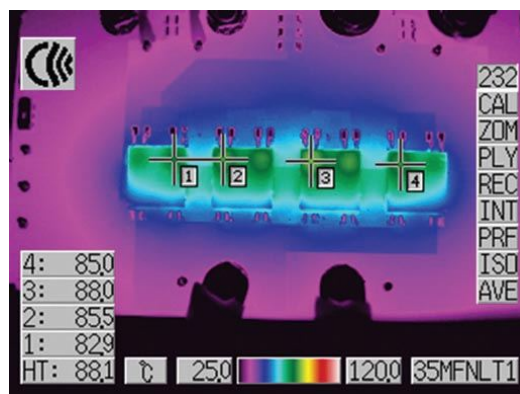
Микросхема работает при входном напряжении  $V_{IN}$  от 4.5 В до 26.5 В, преобразуя его в два выходных напряжения от 0.5 В до 5.4 В. Два выхода можно объединить в один, чтобы получить удвоенный выходной ток: 13 А + 13 А = 26 А.

## Внутренняя или внешняя коррекция

В LTM4676 предусмотрена возможность использования как собственных внутренних цепей коррекции, так и внешних, что позволяет оптимизировать переходную характеристику в широком диапазоне рабочих режимов. Из Рисунка 2 видно, что при скачкообразном увеличении нагрузки на 50% выброс выходного напряжения составляет всего 94 мВ пик-пик.

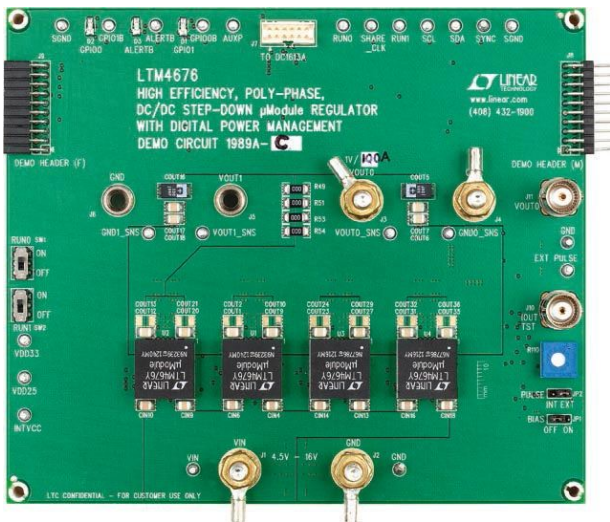
## Объединение каналов для получения выходных токов до 100 А при выходном напряжении 1 В

В микросхеме реализована архитектура с управлением по пиковому току на постоянной частоте переключения, обеспечивающая поцикловое ограничение тока и простое распределение токов между несколькими фазами. Соединяя параллельно несколько модулей, можно увеличить ток нагрузки. Например, четыре модуля LTM4676, включенные параллельно, могут отдавать выходной ток до 100 А. На Рисунке 3 показана термограмма платы с четырьмя модулями.



**Рисунок 3.** Термограмма платы с четырьмя модулями LTM4676.  $V_{IN} = 12 В$ ,  $V_{OUT} = 1.0 В/100 А$ , скорость обдува 100 м/мин.

При скорости воздушного потока 100 метров в минуту температура горячей зоны под-



**Рисунок 4.** Четыре модуля LTM4676 могут обеспечить нагрузку током 100 А.

нимается всего лишь до 64,3 °С. Столь однородная тепловая картина обусловлена отличными характеристиками распределения тока. На Рисунке 4 приведена фотография демонстрационной платы с четырьмя стабилизаторами μModule LTM4676, объединенными в один регулятор с выходным током 100 А и напряжением 1 В.

## Заключение

Цифровые устройства управления питанием компании Linear Technology предоставляют все критически необходимые данные. Через цифровую шину пользователи получают информацию о токе нагрузки, входном токе, выходных напряжениях, расчетной мощности потребления и КПД, а также имеют доступ к другим параметрам управления мощностью. Это делает возможной прогнозную аналитику, минимизирует операционные затраты, повышает надежность и позволяет реализовать интеллектуальное управление энергией.

Цифровой мониторинг и управление питанием системы, основанные на использовании LTM4676, сокращают количество необходимых компонентов и упрощают топологию печатной платы, ускоряя оценку характеристик, накопление данных и оптимизацию системы на этапах макетирования, освоения производства и эксплуатации изделия. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTM4676.](#)

## 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>

# Входные аналоговые интерфейсы высокопроизводительных конвейерных АЦП

Tyler Hutchison и Clarence Mayott, Linear Technology

Design Note 1031

## Введение

Во входных каскадах высокоскоростных АЦП используются схемы выборки и хранения, состоящие из быстродействующего КМОП-ключа и запоминающего конденсатора. Когда КМОП-ключ закрывается, часть заряда, накопленного запоминающим конденсатором, возвращается обратно в предшествующую схему драйвера АЦП (обратный выброс заряда). Чем больше емкость запоминающего конденсатора и хранящийся на нем заряд, тем больше внимания следует уделять схеме драйвера.

Запоминающая емкость типичного конвейерного АЦП составляет несколько пикофарад. Однако в высокоскоростном 16-разрядном АЦП LTC2270, выполняющем 20 млн. выборок в секунду, используется запоминающий конденсатор емкостью 17 пФ. Преимуществом относительно большого конденсатора является значительное снижение внутренних шумов сброса (кТ/С) и соответствующее улучшение общего отношения сигнал/шум. Однако за это преимущество приходится расплачиваться возрастающей сложностью управления. Каждый раз, когда КМОП-ключ закрывается, запоминающий конденсатор выбрасывает в схему драйвера значительно больший заряд, чем конденсатор меньшей емкости.

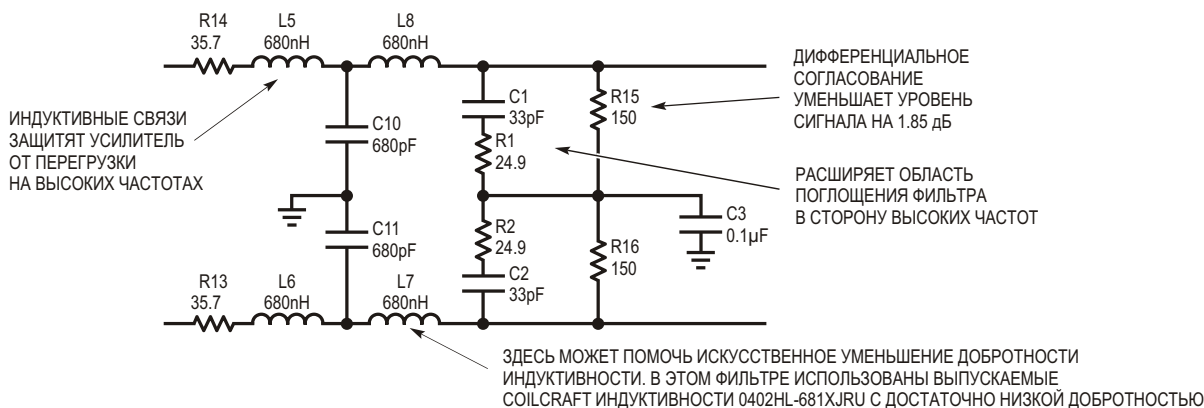
Особого внимания требует интерфейсный фильтр между драйвером и АЦП. Неудачно сконструированный фильтр ухудшает отношение сигнал/шум и свободный от паразитных составляющих динамический диапазон

(SFDR). Этот фильтр должен ограничивать шумы, а также адекватно подавлять обратный выброс заряда, чтобы защитить схему драйвера и сам АЦП от отраженных сигналов. В предлагаемом описании показано, как разработать подходящую схему драйвера и интерфейсный фильтр с полосой 10 МГц для АЦП LTC2270.

## Выбор схемы драйвера

LTC2270 имеет превосходное отношение сигнал/шум, равное 84.1 дБ (приведенное ко входу напряжение шумов 46 мкВ с.к.з) и 99 дБ SFDR в основной полосе частот. Для того чтобы обеспечить оптимальные характеристики LTC2270, драйвер АЦП должен быть нечувствителен к большим обратным выбросам заряда, быть способным управлять относительно мощной нагрузкой и иметь низкий уровень широкополосных шумов.

Синфазное согласование на входе АЦП, обеспечивающее малые искажения АЦП, создает для драйвера значительную нагрузку. Кроме того, этот драйвер должен иметь очень малый уровень шумов. Так, например, входной шум усилителя 3 нВ/ Гц в полосе пропускания 10 МГц ухудшит отношение сигнал/шум более чем на 1 дБ. Хорошим решением, отвечающим всем перечисленным требованиям, является микросхема LTC6409. Она обеспечивает ток нагрузки и размах выходного напряжения, достаточные для качественного синфазного согласования, а приведенное к входу напряжение шумов не превышает 1.1 нВ/ Гц.



**Рисунок 1.** Интерфейсный фильтр с полосой пропускания примерно 10 МГц, включаемый между LTC6409 и LTC2270.

## Конструкция фильтра

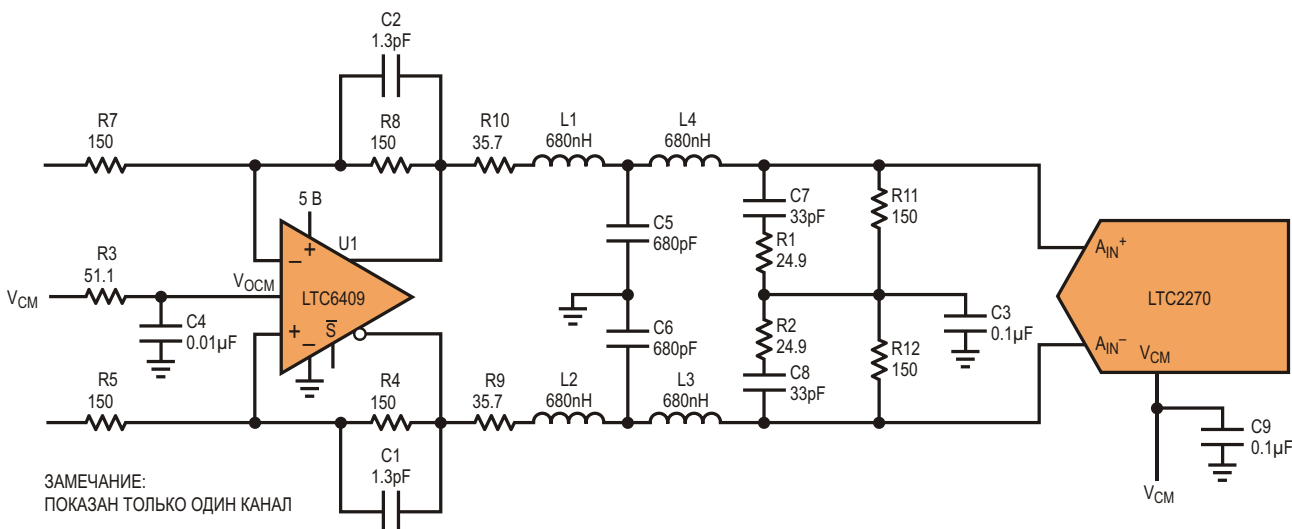
Высокочастотные конвейерные АЦП оцифровывают информацию в огромной полосе частот. LTC2270 имеет полосу пропускания на уровне полной мощности шириной 200 МГц, что позволяет дискретизировать 20 зон Найквиста и интегрировать широкополосные шумовые искажения, сигналы тактовой частоты и прочие радиочастотные артефакты.

Интерфейсный фильтр ограничивает широкополосные шумы драйвера, однако при плохой конструкции он также может ухудшить значение SFDR. Чтобы получить оптимальные характеристики SFDR для драйвера и АЦП, следует начать с этих общих рекомендаций:

- Со стороны своих входов АЦП должен видеть низкий импеданс. Поскольку выборка осуществляется преимущественно синфазно, входное согласование также должно быть синфазным.

- Схема драйвера должна видеть импеданс относительно высоким, в особенности при работе на полной шкале АЦП.
- Наилучшие характеристики имеют поглощающие фильтры (никогда ни разомкнуты, ни закорочены).
- Конденсатор в цепи согласования синфазного входа ослабляет эффект обратного выброса заряда в схему драйвера и АЦП. Фильтр, содержащий синфазную согласующую нагрузку и должным образом подавляющий обратный выброс заряда, будет оптимизировать SFDR.

Список советов по проектированию интерфейсного фильтра этим не исчерпывается, в особенности в части разводки печатной платы, но приведенные рекомендации затрагивают основные направления. Фильтр, представленный на Рисунке 1, иллюстрирует эти

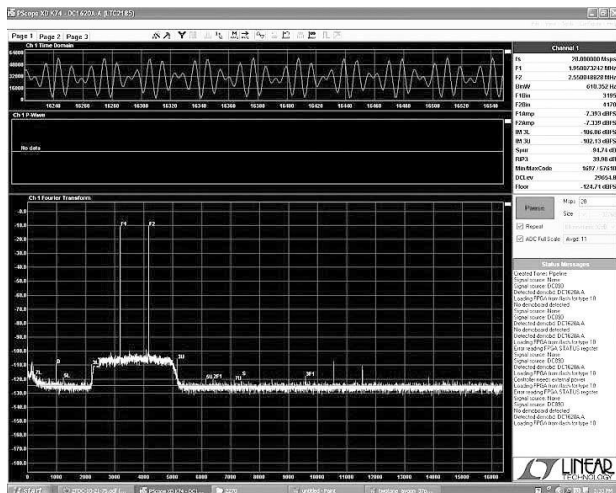


**Рисунок 2.** Полная схема аналогового интерфейса АЦП, включающая буфер LTC6409, фильтр нижних частот с частотой среза 10 МГц и LTC2270.

рекомендации и хорошо проявляет себя в лабораторных испытаниях. На Рисунке 2 изображена полная схема.

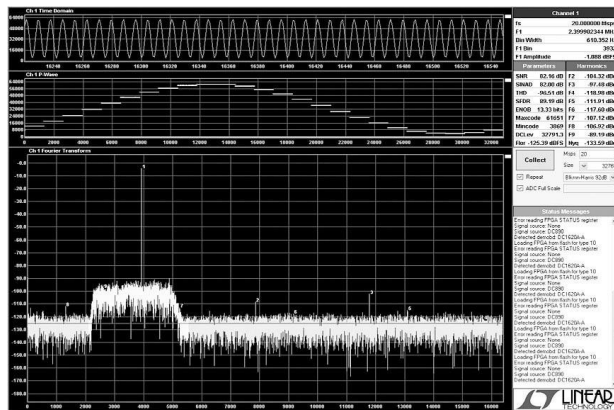
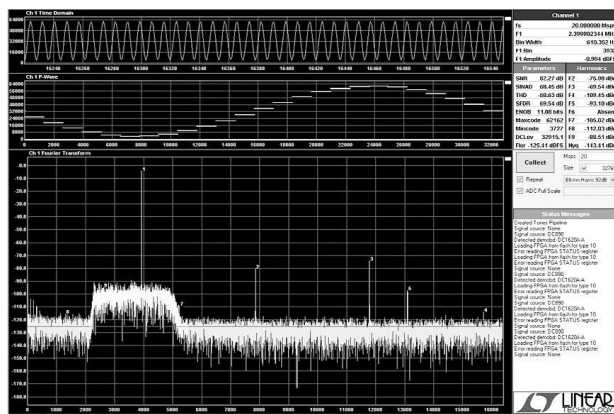
## Лабораторные испытания

Созданные для каждой конкретной разработки фильтр и согласующая нагрузка должны быть экспериментально проверены, поскольку единого правила или формулы, которые учитывали бы все возможные начальные условия, не существует. Лабораторные испытания дают гарантию, что в составе этой конкретной схемы характеристики фильтра не ухудшатся вследствие, скажем, влияния паразитных параметров печатной платы. Лабораторные испытания могут также показать, что резистивные и реактивные элементы согласования оказывают значительное воздействие на искажения системы.



**Рисунок 3.** Двухтональный спектр LTC2270. Повышенный уровень шумов привнесен генератором сигналов.

Например, на Рисунке 3 приведены результаты двухтонального теста, проведенного с использованием интерфейсного фильтра с Рисунка 2. Кроме того, Рисунок 4 позволяет сопоставить уровни искажений при наличии поглощающей согласующей нагрузки и при ее отсутствии. Как видим, согласование заметно уменьшает искажения. Внутри полосы SFDR превышает 100 дБ, а отношение сигнал/шум снизилось всего на 0.4 дБ. Также в результате лабораторных испытаний могут быть выявлены неожиданные избыточные шумы или искажения. В большинстве случаев после экспериментов



**Рисунок 4.** Спектр синусоиды 2.4 МГц после дискретизации в LTC2270 при частоте выборки 20 млн. отсчетов в секунду. SFDR довольно мал, когда из интерфейсного фильтра удалены все выходные элементы согласования (сверху). При правильно сконструированном фильтре характеристики SNR и искажений близки к указанным в техническом описании (внизу).

потребуется определенная доработка схемы. Например, сокращение ширины полосы пропускания может улучшить отношение сигнал/шум, но за это нередко приходится расплачиваться ростом искажений.

Вот несколько практических правил, которые следует учитывать при проектировании интерфейсного фильтра:

- Соблюдайте симметрию фильтра, как по номиналам, так и по топологии печатной платы
- Используйте только конденсаторы с малыми искажениями на основе диэлектриков COG/NPO. Применяйте фильтрующие индуктивности с низкой добротностью или снижайте их добротность искусственно с помощью резисторов
- Обеспечивайте ограничение полосы синфазных сигналов

## Заключение

Несмотря на дополнительную емкость запоминающего конденсатора в LTC2270, хороший драйвер и фильтр 10 МГц практически не ухудшают характеристик LTC2270, заявленных в техническом описании. Хотя комбинация LTC6409 и LTC2270 может использоваться для оцифровки и более высокочастотных сигналов, для разработки фильтра, скорее всего, потребуется больше,

чем простая пропорциональная замена номиналов индуктивностей и конденсаторов. Наконец, чтобы получить эмпирические доказательства правильности выбора всех элементов интерфейса АЦП, обязательно проводите лабораторные исследования. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTC2270](#).
2. [Datasheet Linear Technology LTC6409](#).

# Изолированная схема контроля напряжения сети переменного тока

David Williams

EDN

На Рисунке 1 изображена схема недорогого устройства, измеряющего уровень напряжения в сети переменного тока и, кроме того, имеющая еще ряд полезных применений. Анализ этой схемы весьма прост. Когда переменное напряжение на входе  $V_{IN}$  положительно относительно нейтрального провода, оно оказывается приложенным к цепочке элементов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $D_1$  и к светодиоиду оптоизолятора  $IC_1$ . Ток через эту цепь проходит тогда, когда напряжение достаточно высоко для того, чтобы включить стабилитрон  $D_1$  и светодиод оптрона. Напряжение открывания этой пары диодов назовем напряжением разрешения и обозначим  $V_E$ . Напряжение пробоя стабилитрона и прямое падение напряжения на светодиоде оптрона равны, соответственно, 47 В и 1.2 В, что в сумме дает 48.2 В. При любом напряжении, не достигшем этого значения, уровень выходного напряжения оптрона будет высоким. Когда напряжение

превысит напряжение разрешения, транзистор оптоизолятора откроется и переключит выход в низкое состояние. В таком состоянии выход будет оставаться до тех пор, пока входное напряжение вновь не опустится ниже порога разрешения.

В результате на выходе схемы будут формироваться прямоугольные импульсы с постоянной длительностью  $t_{TOTAL}$ , определяемой временем, в течение которого  $V_{IN}$  превышает напряжение разрешения  $V_E$  (Рисунок 2). Если входное напряжение изменится от 120 до 144 В, прямоугольные импульсы станут шире, если напряжение упадет, ширина импульсов уменьшится. Чтобы вывести формулу для этой схемы, будем считать форму входного сигнала косинусоидальной. Поскольку в нулевой момент времени входное напряжение максимально, оптоизолятор в это время открыт, и его выходное напряжение имеет низкий уровень, который сохраня-

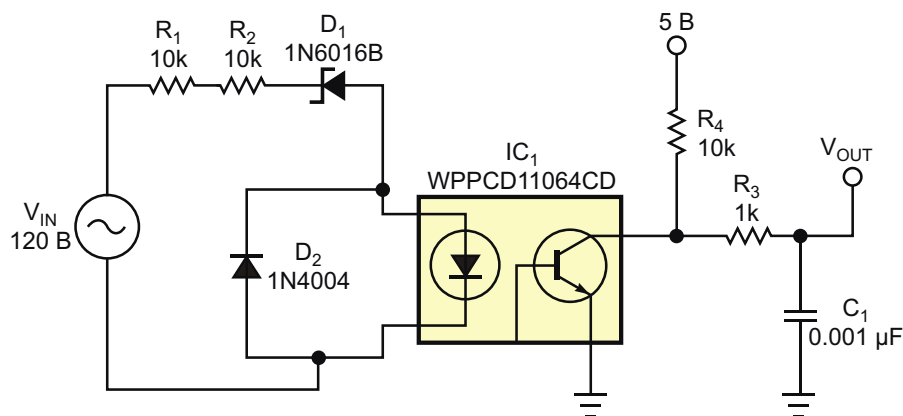
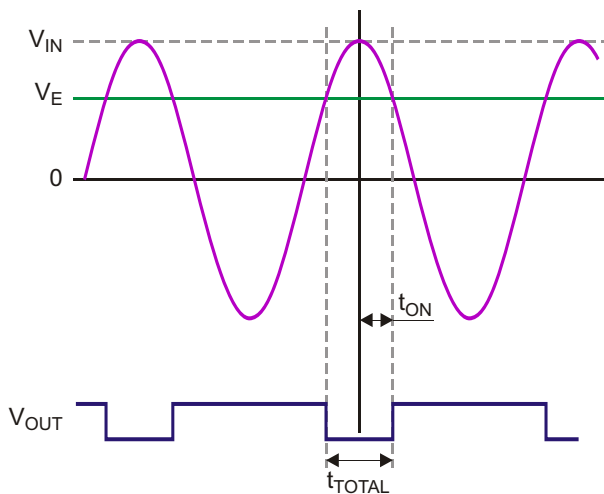


Рисунок 1. Ширина импульса на выходе этого простого монитора напряжения сети переменного тока пропорциональна уровню входного напряжения.



**Рисунок 2.** Временные диаграммы сигналов схемы.

ется до тех пор, пока напряжение на входе не опустится ниже порога разрешения. Следующая формула позволяет определить момент  $t_{ON}$  наступления этого перехода:

$$V_E = V_{IN} \cos(2\pi f t_{ON}).$$

В связи с тем, что функция косинуса симметрична относительно нуля, время  $t_{ON}$  составляет половину общего времени  $t_{TOTAL}$ , в течение которого выходное напряжение имеет высокий уровень. Входы таймеров подавляющего большинства современных микроконтроллеров способны работать в режиме захвата, поэтому простейшим способом определения входного напряжения будет измерение ширины импульса как функции от амплитуды входного сигнала и вычисление  $V_{IN}$  по следующей формуле

$$V_{IN} = \frac{V_E}{\cos(\pi f t_{TOTAL})}.$$

Преобразовать на основании этой формулы длительность импульса во входное напряжение можно как программно, так и с помощью просмотрной таблицы. Не забы-

вайте, что в формулах мы оперировали пиковыми значениями напряжений, так что при необходимости вам потребуется перевести их в среднеквадратичные значения. Эту схему, частота выходного сигнала которой не зависит от коэффициента заполнения и равна 60 Гц, вы можете использовать в качестве источника синхронизации или для измерения времени. Потенциально ее можно использовать и в драйверах для привязки переключения нагрузки к моментам пересечения нуля, если, основываясь на измеренном напряжении, экстраполировать сигналы схемы назад во времени, так как фронты импульсов смещены относительно реального пересечения нуля.

Следует обратить внимание также на следующее.  $D_2$  защищает светодиод оптрона во время отрицательной полуволны входного напряжения. В большинстве случаев на светодиод оптоизолятора это влияния не оказывает, поскольку обратный ток схемы гарантирует, что допустимое обратное напряжение светодиода превышено не будет. Тем не менее, лучшим способом ограничения напряжения на входе оптоизолятора является включение параллельного диода. Добавление этого диода увеличивает ток потребления схемы более чем вдвое, и, ввиду того, что этот ток течет из сети, он может создавать проблемы в отношении мощности, рассеиваемой резисторами на входе схемы.

Если вам требуется более высокая точность оценки входного напряжения, с помощью некоторых усовершенствований характеристики схемы можно улучшить. Основным источником погрешности является стабилитрон, напряжение стабилизации которого имеет разброс 5%. Эти 5% могут породить весьма значительную ошибку определения входной амплитуды. Улучшить точность схемы можно выбором более точного стабилитрона, или же калибровкой каждой платы путем подачи на ее вход известного напряжения и записи этих параметров в память в качестве постоянных коэффициентов. **РЛ**

# Переключатель нагрузки с самовозвращающимся размыкателем цепи

Anthony Smith

EDN

Изображенная на Рисунке 1 простая схема переключателя нагрузки с ограничением тока, вероятно, хорошо знакома многим читателям. В этой схеме высокий уровень сигнала, приложенного к входу, открывает MOSFET  $Q_2$ , через который получает питание нагрузка. Ток нагрузки ограничивается цепью отрицательной обратной связи, замыкающейся через транзистор  $Q_1$ .

В большинстве приложений ток, текущий через  $R_2$  в базу  $Q_1$ , по сравнению с током нагрузки  $I_L$  будет очень небольшим, поэтому напряжение  $V_{CS}$ , падающее на токоизмерительном резисторе  $R_{CS}$ , примерно равно

напряжению  $V_{BE}$  между базой и эмиттером  $Q_1$ . Следовательно

$$V_{BE} = V_{CS},$$

и поскольку

$$V_{CS} = I_L R_{CS},$$

следует, что

$$V_{BE} = I_L R_{CS},$$

или

$$I_L = \frac{V_{BE}}{R_{CS}}.$$

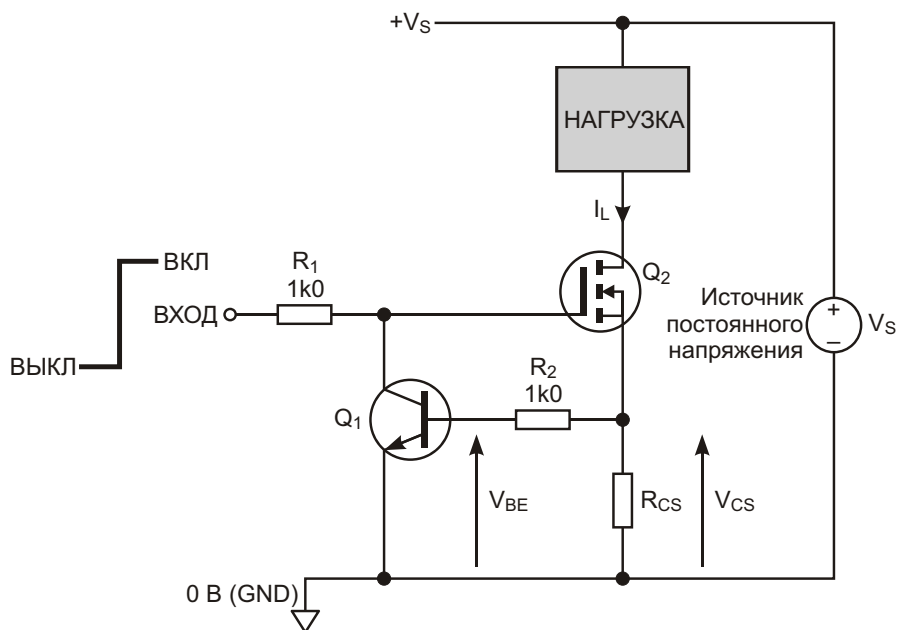


Рисунок 1. Простой линейный ограничитель тока.



эффективный ограничитель тока без каких-либо проблем, связанных с рассеиваемой мощностью. Предлагаемая в статье схема изображена на Рисунке 2 и работает как размыкатель с фиксацией.

Чтобы понять, каким образом работает эта схема, представим себе, что напряжение на выводе ВХОД имеет высокий уровень, транзистор  $Q_2$  открыт, и через нагрузку протекает нормальный ток. При таких условиях падение напряжения на  $R_{CS}$  меньше, чем  $V_{BE(ON)}$ , и  $Q_1$ , соответственно, закрыт. Любой незначительный ток утечки коллектора  $Q_1$  отбирается из базы  $Q_3$  через резистор  $R_3$ , вследствие чего напряжение на переходе база-эмиттер PNP транзистора ограничено до нескольких милливольт или меньше, и удерживает  $Q_3$  в закрытом состоянии. Величина поступающего в нагрузку тока остается в пределах нормальных границ, оба транзистора  $Q_1$  и  $Q_3$  закрыты и не оказывают влияния на  $Q_2$ .

Так же, как и в случае простой схемы ограничителя тока (Рисунок 1), аварийный рост тока нагрузки увеличит падение напряжения на  $R_{CS}$  до уровня, превышающего необходимые для открывания  $Q_1$  650 мВ. При этом дополнительный транзистор  $Q_3$  совместно с  $Q_1$  образует структуру, подобную тиристор. Когда  $Q_1$  включается, он инжектирует ток в базу транзистора  $Q_3$ , который, в свою очередь, полностью открывается, отдавая еще больше тока в базу  $Q_1$ . Такая положительная обратная связь, определяющая взаимодействие  $Q_1$  и  $Q_3$ , гарантирует, что оба транзистора будут открыты быстро и полностью.

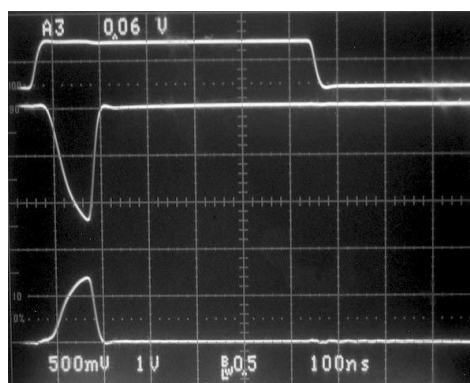
Резистор  $R_2$  необходим для того, чтобы большая часть тока коллектора  $Q_3$  гарантированно текла в базу  $Q_1$ , эффективно изолируя коллектор  $Q_3$  от относительно низкого сопротивления  $R_{CS}$ . При полностью открытых транзисторах  $Q_1$  и  $Q_3$  напряжение на затворе  $Q_2$  относительно шины 0 В мало, и в типичном случае составляет 800 мВ или около того. Поскольку для включения большинства N-канальных MOSFET требуется напряжение затвор-исток по крайней мере 2 В,  $Q_2$  теперь быстро закроется, и ток нагрузки, а также падение напряжения на  $R_{CS}$ , упадут до нуля. Но, так как  $Q_1$  и  $Q_3$  вклю-

чены, MOSFET остается выключенным, защищая их от перегрева.

Для сброса размыкателя цепи достаточно просто подать сигнал низкого уровня на вывод ВХОД, вследствие чего входные токи  $Q_1$  и  $Q_3$  прервутся, и оба транзистора закроются. После повторной подачи высокого уровня на ВХОД нормальная работа схемы восстановится, разумеется, при условии, что причины перегрузки будут устранены. Если же в момент включения аварийный режим нагрузки сохранился, размыкатель цепи немедленно сработает и выключит MOSFET.

Показанные на схеме номиналы резисторов подойдут для большинства приложений. Убедитесь, что сопротивление  $R_1$  не слишком мало, в противном случае всякий раз, когда пара  $Q_1 - Q_3$  защелкивается, через вывод ВХОД будет протекать чрезмерно большой ток. Выбор MOSFET должен основываться в основном на его способности отдавать ток и напряжение, требуемые в конкретной схеме. В качестве  $Q_1$  и  $Q_3$  можно использовать большинство транзисторов общего назначения, имеющих хороший коэффициент передачи тока.

Характеристики схемы иллюстрирует осциллограмма на Рисунке 3. Сопротивление  $R_{CS}$  было выбрано таким, чтобы установить порог срабатывания  $I_{L(MAX)} = 150$  мА, а нагрузка 20 Ом питалась напряжением  $V_S = 5$  В. Верхняя осциллограмма показывает сигнал на выводе ВХОД при переходе из 0 в 5 В, на средней показано напряжение на стоке  $Q_2$ , а внизу



**Рисунок 3.** Осциллограмма, иллюстрирующая поведение схемы:

Вверху – ВХОД (5 В/дел.);

В середине – сток  $Q_2$  (1 В/дел.);

Внизу – напряжение на резисторе  $R_{CS}$  (500 мВ/дел.).

– падение напряжения на сопротивлении  $R_{CS}$ . Когда уровень сигнала на выводе ВХОД становится высоким, в первый момент происходит включение  $Q_2$ , и, пока через нагрузку течет ток, напряжение на его стоке начинает опускаться от 5 В к нулю. Однако, поскольку при сопротивлении нагрузки 20 Ом ток нагрузки превышает 150 мА, падение напряжения на  $R_{CS}$  быстро преодолевает уровень 650 мВ, и переключатель размыкается.

Схема хорошо работает с такими нагрузками, как реле, светодиоды и подобные им компоненты. Однако, как можно увидеть из Рисунка 3, быстродействие размыкателя цепи очень велико, и для реакции на перегрузку ему требуется всего 150 нс. Вследствие этого электромоторы, лампы накаливания и емкостные нагрузки, создающие повышенные броски «пускового» тока, могут вызывать ложные срабатывания. **РЛ**



# 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!**