



Журнал для тех, кто интересуется электроникой

# РАДИОЛОЦМАН

Ноябрь 2015 (54)

37 Почему  
печатные  
платы  
зеленые?

14 e2v создает свой  
самый совершенный  
маломощный АЦП

Прецизионному  
аналоговому  
аттенюатору  
не нужны внешние  
компоненты

Управление питанием  
радиочастотных  
микросхем



## Главный редактор:

А. Николаев

## Над номером работали:

В. Бородулин

В. Колесник

С. Муратчаев

А. Николаев

Н. Радунцева

М. Русских

К. Сараев

## Обложка:

А. Кравчук

## Директор:

С. Муратчаев

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

rlocman@rlocman.ru

+7 (495) 721-72-14

## Новости

- 4 Analog Devices разработала высокоинтегрированный аналоговый входной интерфейс с 24-битным АЦП и лучшим в отрасли сочетанием параметров
- 5 Linear Technology выпускает 24-битный 2-мегагерцовый АЦП последовательных приближений с динамическим диапазоном 145 дБ
- 6 LabNation разработала многоплатформенный 30-мегагерцовый USB осциллограф с открытой документацией
- 8 Atmel начинает производство первых радиационно-стойких микроконтроллеров megaAVR для приложений космической отрасли
- 9 SkyTraq начала производство миниатюрных малопотребляющих RTK-приемников для беспилотных летательных аппаратов и мобильных платформ
- 10 Texas Instruments представляет первые в отрасли драйверы бесщеточных двигателей с интегрированным датчиком тока
- 11 ON Semiconductor предлагает полный комплект регуляторов напряжения для оконечных нагрузок шины DDR
- 12 Недорогие ШИМ-контроллеры компании Diodes оптимизированы для устройств быстрого заряда
- 13 Avago анонсирует сверхэкономичный приемопередатчик Fast Ethernet для средств промышленной автоматизации и сетевого оборудования
- 14 e2v создает свой самый совершенный маломощный АЦП
- 15 Потребление меньше, расстояние больше. Новое беспроводное решение Texas Instruments увеличивает радиус действия до 20 км
- 16 Fairchild приступает к производству первых в отрасли контроллеров резонансных LLC преобразователей с токовым управлением и синхронным выпрямлением
- 17 Контроллер интеллектуальных диодов компании Texas Instruments потребляет нулевую мощность
- 18 Драйверы MOSFET компании Infineon устанавливает новые стандарты функциональной надежности и эффективности
- 19 Технология постоянного импеданса компании IDT улучшает эксплуатационные характеристики новых радиочастотных SPDT коммутаторов
- 20 Texas Instruments дебютирует с автономным редрайвером USB 2.0, улучшающим целостность сигналов в автомобильных приложениях

## Статьи

- 23 Управление питанием радиочастотных микросхем
- 36 ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ. 9 ноября 1922 г. Эйнштейн получил Нобелевскую премию по физике
- 37 Почему печатные платы зеленые?
- 38 Инерциальные приборы и МЭМС микросхемы компании Analog Devices. Часть 1
- 42 Временные татуировки, которые чувствуют через кожу. Часть 2
- 47 Простое устройство на одной микросхеме нагревает и охлаждает термоэлектрический охладитель лазерного диода
- 50 Siri услышит вас даже на коктейльной вечеринке
- 52 МАСТЕР-ЛОМАСТЕР. Разбираем Oculus Rift
- 54 Для «умных» микроконтроллеров нет пути назад

## Схемы

- 56 Микромодуль LTM8040 содержит все компоненты, необходимые для драйвера цепочки светодиодов
- 59 Оптическая обратная связь увеличивает срок службы белых светодиодов
- 62 Простейший источник отрицательного опорного напряжения для схемы с положительной шиной питания
- 65 Мигающий белый светодиод работает от одной щелочной батареи
- 68 Прецизионному аналоговому аттенюатору не нужны внешние компоненты
- 70 Детектор утечки воды на основе трансформатора от старого дверного звонка
- 72 Универсальный прибор для проверки радиоэлементов из стрелочного тестера



## Особенности микросхем AD7124-4/AD7124-8

- Типовое значение среднеквадратичного шума (при коэффициенте усиления, равном 128):
  - В режиме низкого потребления мощности: 255 мкА (24 нВ с.к.з. при скорости вывода 1.17 Гц)
  - В режиме среднего потребления мощности: 355 мкА (20 нВ с.к.з. при скорости вывода 2.34 Гц)
  - В режиме полной мощности: 930 мкА (23 нВ с.к.з. при скорости вывода 9.4 Гц)
- Скорость вывода данных:
  - В режиме низкого потребления мощности: 9.38 ... 19200 выб./с
  - В режиме среднего потребления мощности: 2.34 ... 4800 выб./с
  - В режиме полной мощности: 1.17 ... 2400 выб./с
- Аналоговые входы Rail-to-Rail
- Интегрированный буферизованный источник опорного напряжения 2.5 В с температурным коэффициентом 10 ppm/°C (AD7124-4)
- Цифровые фильтры, гибко программируемые для каждого канала
- Усовершенствованные фильтры для одновременного подавления помех 50 Гц и 60 Гц
- Интегрированные средства диагностики
- Диапазон рабочих температур от -40 °C до +105 °C

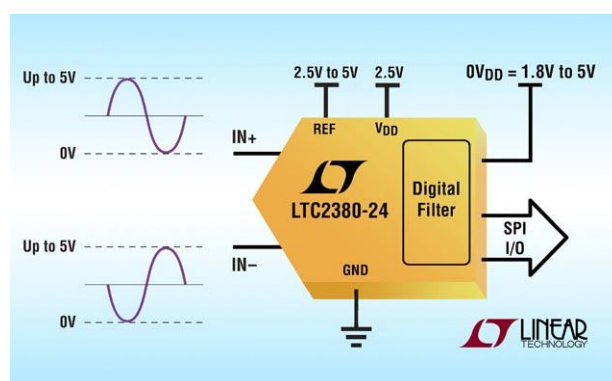
## Цены, доступность и дополнительные компоненты

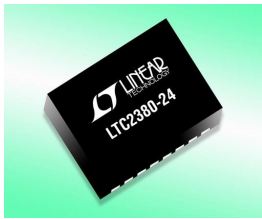
Продукт	Описание	Цена за шт. в лотах из 1000 приборов	Корпуса	Доступность
AD7124-4	4 дифференциальных и 7 псевдодифференциальных входов	\$5.32	LFCSP 32 выв., 5 5 мм TSSOP 24 выв.	Сейчас
AD7124-8	8 дифференциальных и 15 псевдодифференциальных входов	\$5.84	LFCSP 32 выв., 5 5 мм	Сейчас
EVAL-AD7124-4SDZ	Оценочная плата	\$59.00 за штуку	—	Сейчас
EVAL-SDP-CB1Z	Демонстрационная платформа	\$99.00 за штуку	—	Сейчас

## Linear Technology выпускает 24-битный 2-мегагерцовый АЦП последовательных приближений с динамическим диапазоном 145 дБ

Linear Technology совершила очередной прорыв, выпустив на рынок 24-битный 2-мегагерцовый АЦП последовательных приближений LTC2380-24 с нулевым временем конвейерной задержки. Интегрированный в LTC2380-24 цифровой фильтр позволяет в реальном времени усреднять от 1 до 65,536 результатов преобразования, впечатляюще расширяя динамический диапазон, возрастающий от 101 дБ при скорости 1.5 Мвыб/с до 145 дБ при 30.5 выб/с. Подобные характеристики идеально соответствуют требованиям сейсмических, медицинских и многих других приложений, технические характеристики которых в значительной мере определяются высоким динамическим диапазоном преобразователей.

Благодаря наличию встроенного цифрового фильтра, используемого для усреднения результатов измерений, LTC2380-24 освобождает хост процессор от бремени расчетов, сберегая как цифровые ресурсы, так и необходимую для их использования энергию.





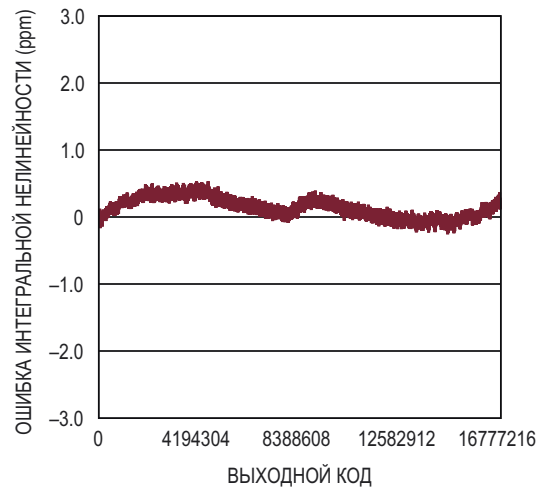
Кроме того, АЦП допускает считывание результатов при частоте синхронизации последовательного интерфейса, сниженной до 2 МГц, упрощая обмен с микропроцессорами и позволяя использовать устройства с меньшим быстродействием.

LTC2380-24 обеспечивает шумовые характеристики, соответствующие истинной 24-битной точности, и прецизионные измерения низкочастотных сигналов с максимальной интегральной нелинейностью  $\pm 3.5$  ppm, рассеивая при этом мощность 28 мВт при напряжении питания 2.5 В.

LTC2380-24 выпускаются в миниатюрных корпусах MSOP-16 и в корпусах DFN-16 размером 4 × 3 мм, и в партиях из 1000 устройств продаются по ценам, начинающимся от \$31.95 за штуку. Микросхема полностью совместима с семейством 20-битных АЦП последовательных приближений LTC2378-20, позволяя легко увеличивать точность ранее разработанных систем до 24 бит. Образцы микросхем и демонстрационные платы можно заказать на сайте Linear Technology или в местных офисах продаж.

### Сводка основных характеристик LTC2380-24

- Гарантированное разрешение 24 бит без пропуска кодов;
- Встроенный цифровой фильтр;



Зависимость интегральной нелинейности от выходного кода.

- Типовой динамический диапазон 101 дБ при 1.5 Мвыб/с;
- Типовой динамический диапазон 145 дБ при 30.5 выб/с;
- Типовая интегральная нелинейность  $\pm 0.5$  ppm;
- Уровень суммарных гармонических искажений –117 дБ при частоте входного сигнала 2 кГц;
- Низкое потребление мощности: 28 мВт на скорости 2 Мвыб/с;
- Подавление частоты сети 50/60 Гц;
- Один источник питания 2.5 В;
- 16-выводной корпус MSOP или корпус DFN размером 4 × 3 мм.

## LabNation разработала многоплатформенный 30-мегагерцовый USB осциллограф с открытой документацией

Graham Prophet

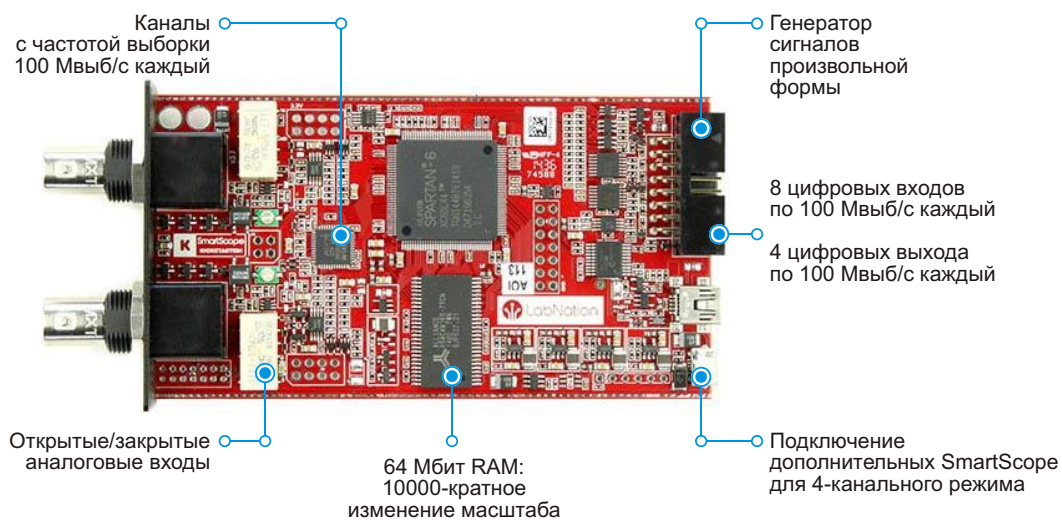
EDN-Europe

Созданный в LabNation USB осциллограф SmartScope с открытой документацией, работающий под операционными системами Apple iPad, Android, Microsoft Windows и Linux, появился в результате кампании, проведенной на Kickstarter в 2014 году и собравшей 645% от требуемой суммы в течение 30 дней

По-видимому, это первый карманный измерительный прибор, созданный для работы под разными операционными системами и на разных платформах, таких как смартфоны, планшеты и ПК, который питается непосредственно от хаба USB и рассчитан на использование во множестве тестовых и измери-

тельных приложений, выполняемых вдали от лабораторного стола.

SmartScope, выполняющий функции осциллографа, логического анализатора и генератора сигналов, поставляется в алюминиевом корпусе размером 110.0 × 64.0 × 24.2 мм и весит 158 г. Средства программной



поддержки, обеспечивающие пользовательский интерфейс и функциональность устройства, могут быть загружены с сайта SmartScope. В настоящее время они доступны для Android (на Google Play Store или на сайте LabNation), Apple Mac OS X, Apple iOS (Jailbroken), Microsoft Windows 7, 8 и 10, а также для Linux-дистрибутивов Ubuntu и Debian.

списку которых могут быть добавлены собственные протоколы, созданные пользователем. Одноканальный генератор может синтезировать сигналы произвольной формы со скоростью до 50 Мвыб/с и выходными уровнями от 0 до 3.3 В. Генератор с цифровыми выходами имеет четыре канала с быстродействием 100 Мвыб/с и выходными уровнями 3.3 В или 5 В.



SmartScope поможет растущей армии радиолюбителей, использующих маленькие одноплатные компьютеры, такие как Raspberry Pi или Arduino, быстрее найти неисправности, больше узнать об основах электроники и глубже понять принципы работы их устройств. Это легкое и компактное устройство также найдет применение в сферах разработки электроники, образования и полевых измерений.

Два аналоговых канала со скоростью до 100 млн. выборок в секунду обеспечивают полосу пропускания 30 МГц по уровню  $-3$  дБ. Входной импеданс равен  $1 \text{ МОм}/1 \text{ пФ}$ , а максимальный уровень входного сигнала – 35 В. При 8-битной точности разрешение осциллографа составляет 2.5 мВ. Программное обеспечение прибора предоставляет пользователю несколько экранных функций для выбора масштабов по горизонтали и вертикали, растяжки развертки, подключения входов, управления синхронизацией и для простых измерений напряжения.



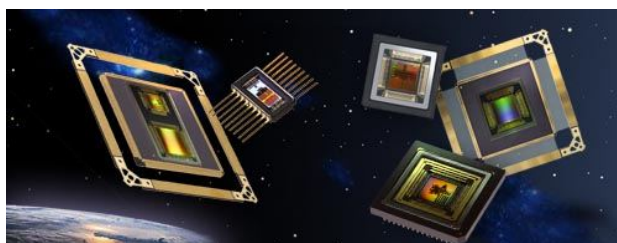
Логический анализатор имеет 8 каналов с выбираемыми пользователем логическими уровнями 3.3 или 5 В. Набор приложений SmartScope включает множество декодеров стандартных протоколов, таких как I<sup>2</sup>C и SPI, к

Малогабаритное устройство продается в комплекте с кабелем mini-USB-B, двумя аналоговыми щупами, цифровым кабелем и делителями по цене €229. Кабель для подключения устройств Android добавит к этой цене еще €10, а пользователи гаджетов Apple должны будут приобрести разъем Lightning непосредственно у Apple.

## Atmel начинает производство первых радиационно-стойких микроконтроллеров megaAVR для приложений космической отрасли

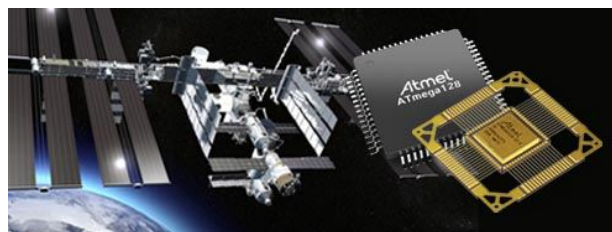
*Опираясь на почти 30-летний опыт работы в авиационно-космической отрасли, Atmel создала радиационно-стойкий микроконтроллер ATmegaS128 с ядром AVR в керамическом корпусе с высокой устойчивостью к эффекту тиристорного защелкивания и расширенным температурным диапазоном, ориентированный на космические приложения следующего поколения*

Atmel объявила о начале поставок микроконтроллеров ATmegaS128, разработанных для использования в космических приложениях следующего поколения. Сохранив всю мощную функциональность семейства megaAVR, новый ATmegaS128 стал первым для Atmel радиационно-стойким устройством со сплошным контролем на пластинах. Приборы, выпускаемые в 64-выводном керамическом корпусе CQFP и внесенные в Список квалифицированных производителей (QML), полностью проверяются на соответствие требованиям Европейского координационного агентства по космическим компонентам (ESCC), гарантируя в космических приложениях устойчивость к общей ионизирующей дозе до 30 крад (Si). Специальная технология изготовления пластин обеспечивает отсутствие у ATmegaS128 эффекта тиристорного защелкивания при воздействии частиц с линейной передачей энергии (SEL LET) на уровне более 62.5 МэВ см<sup>2</sup>/мг при частоте тактового генератора 8 МГц, напряжении питания 3.3 В и температуре 125 °С. Вероятность возникновения одиночных восстанавливаемых сбоев (SEU), вызываемых тяжелыми ионами на низких околоземных орбитах, оценивается в 10<sup>-3</sup> ошибок в день на одно устройство.



Благодаря миллиардам коммерческих устройств AVR, широко используемых во всем мире, новое семейство радиационно-стойких AVR получит повсеместную поддержку экосистемы Atmel Studio, предоставив

разработчикам авиакосмической отрасли возможность использования в прототипах своих устройств намного более дешевых промышленных версий микроконтроллеров ATmega AVR. Предлагаемый в герметичном керамическом корпусе, микроконтроллер функционально и по выводам полностью совместим с существующими микроконтроллерами ATmega128, обеспечивая конструкторам свободу выбора между коммерческими и специализированными устройствами, чтобы сократить время вывода продукта на рынок и снизить затраты на его создание. Такая гибкость ценового маневра в сочетании с доступностью высоконадежной версии прибора в пластмассовом корпусе позволяет рассматривать возможность использования ATmegaS128 в более широкой сфере авиационно-космических приложений, также критичных к требованиям радиационной стойкости.



### Экосистема и стартовые наборы

Для упрощения конструирования и ускорения выхода продуктов на рынок Atmel предлагает законченный стартовый набор STK600 и систему разработки для AVR микроконтроллеров ATmegaS128, позволяя инженерам быстрее приступить к написанию кода для AVR с расширенными возможностями создания прототипов и тестирования новых устройств. Для снижения цены потребители могут начинать свои разработки, используя промышленные версии ATmega128, полностью совместимые по выводам с ATmegaS128.

Новые микроконтроллеры AVR поддерживаются проверенной временем интегрированной средой разработки Atmel Studio, предназначенной для создания и отладки устройств на базе процессоров Atmel | SMART ARM и Atmel AVR, а также библиотекой Atmel Software Framework.

### Ключевые особенности ATmegaS128

- Высокопроизводительный, малопотребляющий 8-разрядный микроконтроллер AVR;
- Энергонезависимая память с высокой устойчивостью к внешним воздействиям;
- Особо надежная периферия, включающая 8- и 16-разрядные таймеры/счетчики, 6 каналов ШИМ, 8-канальный 10-разрядный АЦП, последовательный интерфейс

TWI/USART/SPI, программируемый сторожевой таймер и аналоговый компаратор;

- Сброс при включении и программируемое обнаружение провалов питания;
- Внутренний калиброванный RC тактовый генератор;
- Внешние и внутренние источники прерываний;
- Шесть режимов энергосбережения;
- Режимы пониженного потребления мощности, ожидания и расширенного ожидания.

### Доступность

В настоящее время Atmel ведет активную работу по привлечению покупателей устройств ATmegaS128.

## SkyTraq начала производство миниатюрных малопотребляющих RTK-приемников для беспилотных летательных аппаратов и мобильных платформ

Тайваньская фаблесс компания SkyTraq Technology, специализирующаяся на производстве устройств для систем спутниковой навигации, представила недорогой, миниатюрный, малопотребляющий одночастотный модуль RTK-приемника S2525F8-BD-RTK, предназначенный для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и мобильных платформ, требующих точности позиционирования сантиметрового уровня.

Поддерживающий несколько группировок ГНСС, работающих в стандартах GPS, BDS, QZSS и SBAS, RTK-приемник S2525F8-BD-RTK может отслеживать одновременно до 28 спутников. При размерах 25 × 25 мм, весе 3 г и потребляемой мощности 300 мВт модуль идеально подходит для наружных приложений, предъявляющих повышенные требования к точности RTK-позиционирования.

S2525F8-BD-RTK поддерживает режимы как базовой станции, так и полевого приемника. В качестве приемника модуль получает информацию о поправках в форматах RTCM 3.0 или 3.1 от базовой станции, или же необработанные результаты измерений от другого приемника S2525F8-BD-RTK, выполняющего функцию базовой станции и в пределах 10-километрового удаления от базы извлекающего информацию из фазы несущей для дос-



тижения относительной точности определения местоположения на уровне сантиметров.

Компактная отладочная плата модуля имеет разъем последовательного интерфейса, поддерживающий прямое подключение к автопилотам Ardupilot и Pixhawk для тестирования БПЛА. Установленный на плате модуль Bluetooth 2.1 упрощает наружную работу с устройством, позволяя использовать Bluetooth соединение со смартфоном или планшетом для приема через Интернет данных удаленных базовых станций с помощью клиентского ПО NTRIP.

И инженерные образцы S2525F8-BD-RTK, справочная документация, типовые конструкции и оценочные платы уже доступны потребителям. Массовое производство модулей начнется в конце ноября 2015 года.



# Texas Instruments представляет первые в отрасли драйверы бесщеточных двигателей с интегрированным датчиком тока

Семейство драйверов электродвигателей с интегрированными силовыми MOSFET позволит упростить проектирование и снизить потери мощности

Компания Texas Instruments (TI) выпускает первую в отрасли микросхему для управления коллекторными электродвигателями с встроенным датчиком тока. При такой интеграции разработчики смогут снизить потери мощности и тепловыделение, присущие системам, в которых в качестве датчика тока используется внешний резистор. Микросхемы DRV8871 рассчитаны на работу с электродвигателями постоянного тока с рабочим напряжением 12 В/24 В и, в сравнении с конкурирующими приборами других производителей, позволяют упростить схемотехнику проекта, снизить энергопотребление и уменьшить габариты печатной платы, что критично для такого оборудования как многофункциональные принтеры, бытовая электроника и промышленные приборы.



резистора датчика тока уменьшает площадь печатной платы на 25%.

## • Оптимизация энергопотребления:

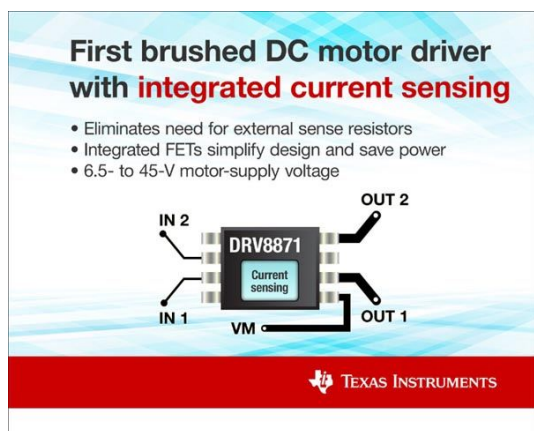
Для установки пороговых значений тока, ограничения пускового тока и бросков тока при остановке двигателя используются стандартные дешевые маломощные резисторы. Возможность ограничить ток до известного уровня может значительно упростить требования к системе электропитания и емкости конденсаторов, что особенно важно при пуске и торможении двигателя.

## • Упрощение проектирования:

Разводка платы с точным контролем тока становится проще благодаря исключению из схемы внешнего резистивного датчика.

## • Широкий диапазон напряжений питания:

Микросхемы могут управлять двигателями с напряжением питания от 6.5 до 45 В, что отвечает требованиям стандартов для промышленных источников питания 12 В / 24 В.



## First brushed DC motor driver with integrated current sensing

- Eliminates need for external sense resistors
- Integrated FETs simplify design and save power
- 6.5- to 45-V motor-supply voltage

## Основные характеристики микросхемы DRV8871

- Полумостовой драйвер электродвигателя:
  - возможность управления одним двигателем постоянного тока, одной обмоткой шагового двигателя или иными нагрузками;
- Широкий диапазон рабочих напряжений: 6.5 В ... 45 В;
- Типовое суммарное сопротивление открытых каналов MOSFET верхнего и нижнего плеча 565 мОм;
- Пиковый ток нагрузки 3.6 А;
- Интерфейс ШИМ-управления;
- Спящий режим с пониженным энергопотреблением;
- Интегрированный датчик тока и схема контроля тока;

Драйвер DRV8871 является одним из трех новых представителей семейства микросхем с интегрированными MOSFET, разработанных для применения в компактных устройствах. Микросхема DRV8870 содержит схему ограничения тока внешнего токоизмерительного резистора, а в DRV8872 интегрирован узел мониторинга неисправностей, повышающий надежность систем.

## Ключевые особенности и преимущества

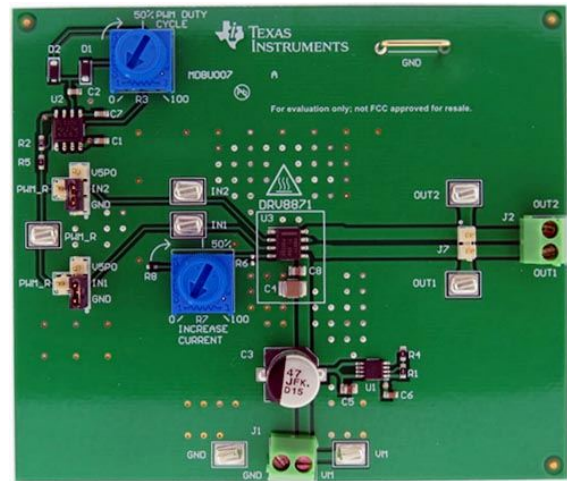
### • Снижение сложности системы:

При проектировании системы на микросхеме DRV8871 исключение внешнего

- Встроенные защитные функции:
  - блокировка при недостаточном напряжении питания,
  - отключение при перегрузке по току,
  - отключение при перегреве,
  - автоматический перезапуск после отказа.
- 8-выводной корпус HSOP размером 4.9 6.0 мм с теплоотводящей площадкой PowerPAD;

### Средства поддержки разработчиков

Для демонстрации возможностей микросхем и изучения их характеристик TI предлагает оценочные модули DRV8870EVM, DRV8871EVM и DRV8872EVM. Помимо драйверов на каждом модуле установлены LDO регулятор напряжения TPS7A16, интегральный таймер TLC555, работающий в режиме ШИМ, разъемы для подключения питания и нагрузки, а также потенциометры для регулировки коэффициента заполнения ШИМ и установки порогового значения тока. Модули продаются по цене \$49 со склада TI или у авторизованных дистрибьюторов компании.



Оценочный модуль DRV8870EVM.

### Цены и доступность

Микросхемы семейства DRV8871 в 8-выводных корпусах HSOP со сниженным тепловым сопротивлением и размерами 4.9 6.0 мм выпускаются серийно. При заказе 1000 микросхем цены начинаются от \$1.40 за штуку для приборов DRV8871, и от \$1.28 для DRV8870 и DRV8872.

## ON Semiconductor предлагает полный комплект регуляторов напряжения для окончательных нагрузок шины DDR

*Новейшие интегральные решения обеспечивают эффективное ограничение втекающего/вытекающего тока и функции дистанционного измерения в смартфонах, а также в потребительских, вычислительных и автомобильных приложениях*

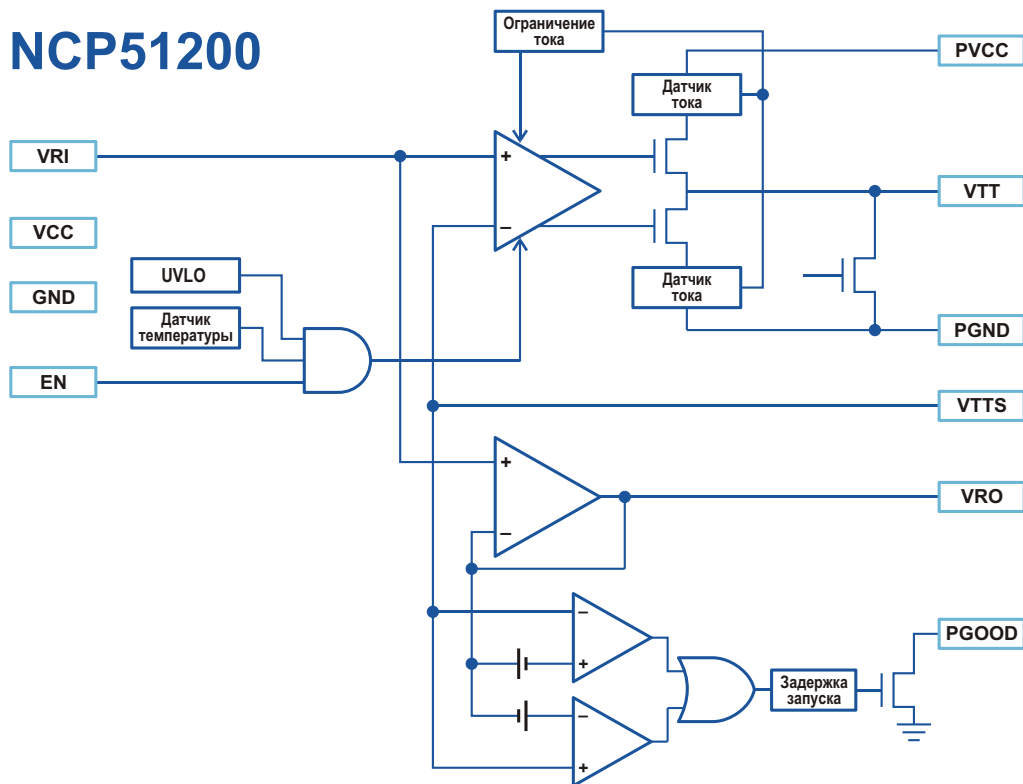
Продолжая расширять свое семейство линейных LDO стабилизаторов напряжения, ON Semiconductor представила серию новых высокоэффективных устройств для поддержки памяти с удвоенной скоростью передачи



данных (DDR). Микросхемы NCP51200, NCP51400, NCP51510 и NCP51199 с встроенными силовыми MOSFET предназначены для разнообразного оборудования, такого как серверы, роутеры, смартфоны, планшеты, телевизионные приставки, принтеры, а также материнские платы ПК и ноутбуков. Доступны также отвечающие требованиям стандарта AEC-Q100 версии для устройств автоэлектроники, которые могут использоваться во встроенных GPS-навигаторах, информационно-развлекательных системах и в средствах коммуникации, основанных на Wi-Fi и Bluetooth.

Новые высококачественные LDO стабилизаторы предназначены для питания окончательных нагрузок шин стандартов DDR1, DDR2, DDR3, LPDDR3, DDR4 и LPDDR4 напряжением от 500 мВ. При использовании с памятью

## NCP51200



типов DDR4 и LPDDR4 каждый прибор может служить активным источником втекающего или вытекающего тока до 2.0 А. Микросхема NCP51145 рассчитана на шины памяти DDR4 и LPDDR4 и токи до 1.2 А. Максимальный втекающий и вытекающий ток микросхем NCP/NCV51199 при работе с памятью DDR2 и DDR3 равен 2.0 А и 1.5 А, соответственно, в то время как NCP51200 и NCP51510 рассчитаны на пиковые значения 3 А и поддерживают удаленное измерение токов. В эти предназначенные для согласования шин DDR высокоинтегрированные LDO заложены также функции мягкого запуска, защитного отключения при перегреве кристалла и, для некоторых устройств, механизмы блокировки при пониженном напряжении. В каждом приборе содержится быстродействующий операционный усилитель, со сверхмалым вре-

менем реакции на скачки входного напряжения и тока нагрузки. Совместимость всех перечисленных устройств с памятью DDR1 и DDR2 обеспечивает удобство модернизации более старых модулей DDR. Стандартный диапазон рабочих температур микросхем составляет  $-40^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$ , а для схем автомобильной электроники предлагается прибор с температурным диапазоном, расширенным до  $+150^{\circ}\text{C}$ .

### Корпуса и цены

15 микросхем семейства NCP51xxx поставляются в корпусах трех типов: 8-выводном SOIC-EP, 8-выводном DFN размером 2 2 мм и 10-выводном DFN с размерами 3 3 мм. Цены на новые приборы находятся в диапазоне от \$0.07 до \$0.195 за штуку при объеме заказа не менее 3000 микросхем.

## Недорогие ШИМ-контроллеры компании Diodes оптимизированы для устройств быстрого заряда

Компания Diodes предлагает новые ШИМ-контроллеры AP3127/H, оптимизированные для приложений быстрого заряда в портативной бытовой аппаратуре, таких как интеллектуальные зарядные устройства сотовых теле-

фонов и адаптеры ноутбуков, и обеспечивающие создание высокопроизводительных и экономичных решений для заряда аккумуляторов. Кроме того, контроллеры могут использоваться в таких потребительских



электронных устройствах, как абонентские телевизионные приставки, игровые консоли, модемы и сетевое оборудование.

В нормальном режиме работы частота импульсов ШИМ-контроллеров AP3127 и AP3127H внутренне зафиксирована на уровнях 65 кГц и 100 кГц, соответственно. Однако при умеренных уровнях нагрузки устройства переходят в «зеленый» режим со следящим изменением частоты, снижение которой

повышает КПД системы, но, в то же время, при минимальном значении 20 кГц не создает слышимых акустических шумов. Для минимизации мощности, потребляемой на холостом ходу или при малой нагрузке, микросхемы переключаются в пульсирующий режим, в то время как встроенная функция дизеринга (флуктуации рабочей частоты) снижает электромагнитные излучения.

В дополнение к превосходному регулированию мощности со средним КПД более высоким, чем у совместимых по выводам конкурирующих устройств, контроллеры AP3127/H также поддерживают полный набор защитных функций, обеспечивающих стабильную, устойчивую и надежную работу. В их числе защита от перегрузки по току, повышенного напряжения на вторичной стороне и внутреннего перегрева, а также от недостаточного напряжения на вторичной стороне, предохраняющая источник питания при коротком замыкании его выходного кабеля.

## Avago анонсирует сверхэкономичный приемопередатчик Fast Ethernet для средств промышленной автоматизации и сетевого оборудования

*Модуль 100BASE-FX SFP с потреблением мощности 255 мВт позволяет упростить или полностью исключить системы охлаждения и вентиляции из промышленной аппаратуры*

Avago Technologies анонсировала малогабаритный вставной SFP-модуль оптического приемопередатчика AFBR-57E6APZ для Fast Ethernet с ультранизким потреблением мощности, предназначенный для средств промышленной автоматизации, устройств управления и сетевых приложений. Переработанная конструкция чипсета для управления светодиодом, интерфейса диагностики и обработки сигналов позволила значительно сократить потребляемую модулем мощность. По сравнению с устройством предыдущего поколения потребление AFBR-57E6APZ снижено на 42% при улучшении электрических и оптических характеристик.

### Основные особенности модуля

- Самое низкое в отрасли потребление мощности: 255 мВт (типовое значение), 405 мВт (максимум);
- Промышленный диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ;

- Дистанция связи до 2 км для многомодового оптического волокна 50/125 мкм или 62.5/125 мкм;
- Встроенный интерфейс DMI (интерфейс мониторинга и диагностики), в реальном времени предоставляющий информацию о температуре, токе и средней выходной мощности светодиода, а также о средней входной мощности приемника;



- Совместимость со спецификациями SFF-8074i и SFF-8472 MSA;
- Совместимость с версией 100BASE-FX стандарта IEEE 802.3u;
- Надежная светодиодная технология, обеспечивающая длительный ресурс лазера и исключая такие отказы, как внезапное разрушение или деградация зеркала.

«Fast Ethernet широко используется в системах промышленной автоматизации, устройствах управления и сетевом оборудовании, – сказал Мартин Вейджер (Martin Weigert), вице-президент и генеральный директор подразделения промышленных оптоволоконных продуктов компании Avago. – Наши новые

модули 100BASE-FX SFP с ультранизким потреблением мощности являются идеальным решением проблем питания, с которыми сталкиваются многие из наших промышленных потребителей, позволяя им упростить разработку стоечной сетевой аппаратуры и исключить из нее дорогостоящие системы охлаждения и вентиляции».

### Доступность продукта

Для партий из 1000 приборов цены, установленные на AFBR-57E6APZ, начинаются от \$32.10 за штуку. Приобрести образцы и промышленные количества модулей можно уже сейчас через каналы прямых продаж Avago и глобальную дистрибьюторскую сеть компании.

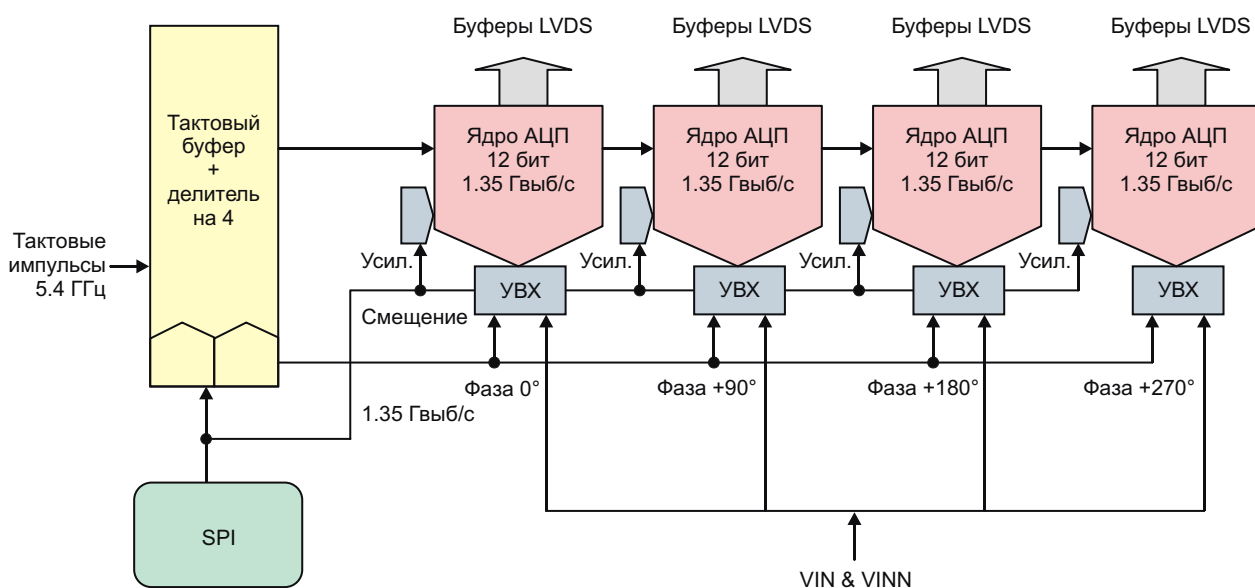
## e2v создает свой самый совершенный маломощный АЦП

*e2v анонсировала планы по запуску в производство 12-битного АЦП следующего поколения с частотой выборки 5.4 Гвыб/с, малой конвейерной задержкой и низкими шумами*

Новый прибор EV12AS350 компании e2v станет первым на рынке АЦП, в котором скорость выборки 5.4 Гвыб/с, полоса частот входного сигнала, превышающая 3 ГГц и конвейерная задержка всего 26 тактов сочетаются с плотностью шумов –150 дБм/Гц. В отличие от других АЦП, предлагаемых сегодня на рынке, EV12AS350 не будет иметь негармонических паразитных составляющих, создавая

чистый сигнал для кодеров, используемых в широком диапазоне самых ответственных приложений.

Способность EV12AS350 работать в режиме синхронной выборки четырьмя ядрами АЦП и, усредняя результаты, усилить отношение сигнал/шум на 6 дБ одновременно обеспечивает как высокое разрешение, так и большой динамический диапазон. Такие воз-



Упрощенная блок-схема EV12AS350.

возможности делают АЦП идеальным компонентом для средств радиоэлектронной борьбы, а также для тестовых и измерительных приложений.

«Опираясь на 20-летний опыт e2v, мы сконструировали то, что на сегодня станет нашим самым мощным АЦП. Этот опыт позволил нам представить АЦП без негармонических паразитных составляющих, который даст возможность создавать кодеры с невообразимыми до сих пор характеристиками», – сказал Ричард Гиббс (Richard Gibbs), президент компании e2v Semiconductors.

«Огромный интерес, проявленный нашими клиентами к демонстрационным образцам этого АЦП, побуждает нас к разработке и



запуску в серийное производство усовершенствованной версии EV12AS350, которая станет доступна пользователям в следующем году», – пообещал Лоран Монж (Laurent Monge), вице-президент и генеральный директор e2v.

## Потребление меньше, расстояние больше. Новое беспроводное решение Texas Instruments увеличивает радиус действия до 20 км

*Беспроводной микроконтроллер CC1310 семейства SimpleLink со сверхмалым потреблением мощности и великолепными радиочастотными характеристиками теперь доступен разработчикам устройств для Интернета вещей*

Texas Instruments анонсировала доступность очередной микросхемы семейства SimpleLink, созданной для того, чтобы помочь потребителям добавить средства дальней связи к их устройствам Интернета вещей. Новый беспроводной микроконтроллер CC1310 на платформе SimpleLink может без смены батареи до 20 лет проработать в устройствах автоматизации задний и предприятий, в системах сигнализации и безопасности, в интеллектуальных электросетях и сетях беспроводных датчиков.

**Ultra-low power. Longer range. Tiny size.**



Разработанный для сверх малопотребляющих приложений с большим радиусом действия, беспроводной микроконтроллер CC1310 характеризуется следующими отличиями от приборов предыдущих поколений:

- Радиоблок со сверхнизким потреблением мощности, интегрированный процессор ARM Cortex-M3, контроллер обработки сигналов датчиков, режимы экономии энергии и ток потребления 0.6 мкА в спящем режиме дают итоговую оценку эффективности 158 по методике ULPBench.
- Радиус действия, расширенный за счет высочайшей чувствительности и строгой совместимости блоков, гарантирует устойчивую связь между зданиями в условиях городской застройки на расстоянии свыше 20 км при питании от миниатюрного литиевого элемента.
- Повышенный уровень интеграции беспроводного микроконтроллера предоставляет бóльшие возможности при меньших размерах.

Для упрощения разработки устройств на базе SimpleLink CC1310 TI предоставляет набор программных средств поддержки, кото-

рый сегодня содержит примеры решений типа точка-точка со стеками промышленных протоколов EasyLink и wM-Bus в среде операционной системы TI RTOS, а также стек протоколов открытого стандарта многосвязных сетей Contiki 6LoWPAN. Облегчить процесс конструирования помогут также средства разработки, типовые проекты, онлайн семинары и поддержка сообщества E2E. Кроме того, наличие вариантов приборов, различающиеся объемом флэш-памяти – 32 КБ, 64 КБ или 128 КБ, – дает разработчикам возможность выбирать микроконтроллер, соответствующий размерам программного кода.

## Цены и доступность

На складах TI и авторизованных дистрибьюторов компании уже имеются отладочные комплекты для беспроводных микроконтроллеров CC1310:

- За \$299 можно приобрести универсальную аппаратно-программную платформу разработки CC1310DK;
- Оценочный комплект CC1310EMK, содержащий два радиомодуля, две антенны и руководство пользователя, можно купить за \$99.



Демонстрационная плата CC1310EMK.

Беспроводные микроконтроллеры CC1310 семейства SimpleLink, предназначенные для работы в ISM диапазонах на частотах 315 МГц, 433 МГц, 470 МГц, 500 МГц, 868 МГц, 915 МГц и 920 МГц, будут выпускаться в корпусах QFN с размерами 4 4 мм, 5 5 мм и 7 7 мм. В настоящее время предлагаются микроконтроллеры в корпусах 7 7 мм для частот ISM диапазона 868 МГц, 915 МГц и 920 МГц, которые в партиях из 1000 приборов могут быть приобретены по следующим ценам (за штуку):

- CC1310F32: \$2.80,
- CC1310F64: \$3.20,
- CC1310F128: \$3.60.

## Fairchild приступает к производству первых в отрасли контроллеров резонансных LLC преобразователей с токовым управлением и синхронным выпрямлением

*Производители смогут создавать высокоэффективные и надежные источники питания для серверов, телекоммуникационного оборудования, компьютерных и телевизионных приложений*

Fairchild приступила к производству новых микросхем FAN7688 – усовершенствованных контроллеров резонансных LLC преобразователей с синхронным выпрямлением, позволяющих создавать изолированные DC/DC преобразователи с лучшей в своем классе эффективностью. Уникальные характеристики и исключительно высокий КПД FAN7688 позволят производителям повысить надежность и эффективность источников питания для серверного, телекоммуникационного и промышленного оборудования, а также для персональных компьютеров и телевизионных приемников.

В микросхеме FAN7688 реализована разработанная Fairchild инновационная техно-

логия управления зарядом, основанная на контроле тока, в отличие от режима управления по напряжению, традиционно использу-



емому в других LLC контроллерах. Являясь первым и единственным в отрасли резонансным LLC контроллером с управлением по току нагрузки и синхронным выпрямлением, FAN7688 позволяет точнее и быстрее реагировать на скачки нагрузки и, кроме того, упрощает схему контура регулирования, делая разработку источников питания более легкой, чем в случае использования традиционных LLC резонансных контроллеров. Помимо этого, адаптивное управление синхронным выпрямителем на вторичной стороне гарантирует высокую надежность и стабильность работы выпрямителя, как при скачках нагрузки, так и при бросках входного напряжения.

Реализованный в FAN7688 режим управления по току основан на технологии управления зарядом, обеспечивающей лучшую управляемость силового каскада, упрощающей разработку цепи обратной связи и предоставляющей возможность точного ограничения входной мощности. Цепь мягкого запуска поддерживает постоянную скорость нарастания выходного напряжения независимо от характера нагрузки. Мертвое время, адаптивно устанавливаемое отдельно для каждого из фронтов, минимизирует время проводящего состояния паразитного диода и позволяет максимально увеличить рабочую частоту.

В FAN7688 заложено множество решений, обеспечивающих высокий КПД в схемах

источников питания. Его типичное значение составляет 97% при входном напряжении 400 В и напряжении на нагрузке 12 В. Эффективность FAN7688 также повышается за счет полного набора защитных функций, включающего защиту от перегрузки, короткого замыкания выхода и повышенного напряжения.

## Доступность

FAN7688 выпускаются серийно и имеются на складах дистрибьюторов компании. Разработчикам, желающим изучить принципы работы LLC в деталях, рекомендуется дополнительно заказать одну из оценочных плат: FEBFAN7668 с выходной мощностью 306 Вт или FEBFAN7688A с выходной мощностью 250 Вт.



Оценочная плата FEBFAN7668.

## Контроллер интеллектуальных диодов компании Texas Instruments потребляет нулевую мощность

*Первое в отрасли решение с нулевым током потребления для защиты от переплюсовки питания промышленных электроинструментов и устройств автоэлектроники*

Texas Instruments (TI) представила первый в отрасли контроллер интеллектуальных диодов

**TI's smart diode controller realizes the power of zero**

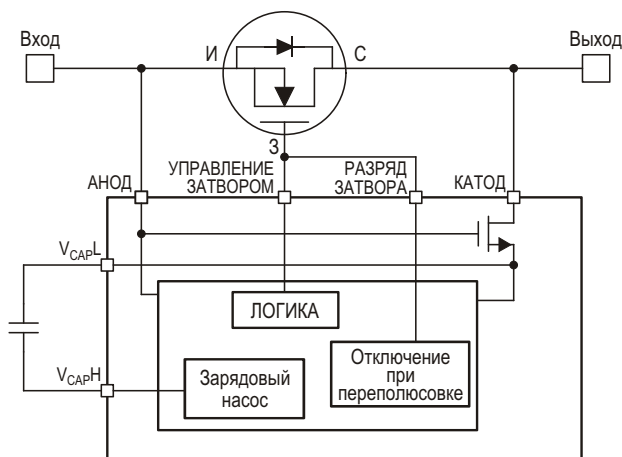
- Zero quiescent-current solution for reverse polarity protection.
- Better efficiency vs. Schottky diodes and PFETs.
- Smaller solution size.

TEXAS INSTRUMENTS

с нулевым током потребления, способный обеспечить намного большую эффективность, чем диоды Шоттки или р-канальные MOSFET. Благодаря низкому потреблению мощности и компактности законченного решения микросхема LM74610-Q1 хорошо подойдет для защиты от обратной полярности подключения питания силовых промышленных электроинструментов и устройств автомобильной электроники.

В LM74610-Q1 реализована уникальная архитектура плавающей земли, моделирующая поведение диода с нулевым током утечки на землю. В паре с n-канальным MOSFET





Функциональная схема контроллера LM74610-Q1.

CSD17313Q2Q1 из выпускаемого TI семейства NexFET новый контроллер при последовательном подключении к источнику питания образует функциональный аналог диодного выпрямителя, разряжающего затвор MOSFET при неправильной полярности входного напряжения. LM74610-Q1 может использоваться также в комбинации с двумя источниками питания для выполнения функции «ИЛИ» в системах с резервированием.

### Основные особенности и преимущества LM74610-Q1

- Нулевой ток потребления увеличивает время работы батарей.
- Внешний n-канальный MOSFET позволяет создавать масштабируемые решения для различных уровней токов.
- Допустимое обратное напряжение 45 В гарантирует надежную работу в устройствах автомобильной электроники.
- Соответствие требованиям стандарта автоэлектроники AEC-Q100 с устойчивостью к электростатическим разрядам напряжением до 4 кВ.

Для использования в качестве выпрямителя в автомобильных и промышленных генераторах переменного тока TI предлагает контроллер интеллектуальных диодов LM74670-Q1 с допустимым током затвора 70 мкА – большим, чем у LM74610-Q1, – что позволяет обрабатывать сигналы переменного тока с частотой до 300 Гц.

### Базовый проект системы питания для ADAS

С сайта TI можно загрузить описание базового проекта PMP10652.1 – 30-ваттного контроллера питания для многокамерной системы кругового наблюдения ADAS, управляемой центральным процессором. В проекте используются, в частности, контроллер LM74610-Q1 и 3-амперный синхронный DC/DC преобразователь LM53603-Q1, обеспечивающие защиту от переплюсовки питания и повышенного напряжения в соответствии с требованиями, предъявляемыми к устройствам автоэлектроники.



Оценочный модуль PMP10652.1 с контроллером LM74610-Q1.

### Доступность, корпуса и цены

Контроллеры LM74610-Q1 серийно выпускаются в 8-выводных корпусах VSSOP с размерами 5 × 1.1 мм, и в партиях из 1000 приборов могут быть приобретены у TI или у авторизованных дистрибьюторов компании по цене \$1.25 за штуку. Также доступен для заказа оценочный модуль PMP10652.1, с помощью которого можно исследовать особенности микросхемы LM74610-Q1.

## Драйверы MOSFET компании Infineon устанавливает новые стандарты функциональной надежности и эффективности

Infineon Technologies начала производство новых микросхем 2EDN7524, расширивших семейство силовых приборов EiceDRIVER и предназначенных для построения корректоров коэффициента мощности, LLC преобразователей и каскадов синхронного выпрям-

ления в импульсных источниках питания. Этими новейшими приборами Infineon подтвердила свой опыт и лидирующие позиции на рынке, впервые предложив специализированные драйверы MOSFET. Новые усовершенствованные микросхемы 2EDN семе-



йства EiceDRIVER являются важнейшими элементами, связывающими управляющие микросхемы с MOSFET, такими, например, как CoolMOS C7, а также с переключающими устройствами на основе GaN. Драйверы 2EDN позволяют повысить плотность мощности и поднять уровни системной эффективности и надежности.



Микросхемы 2EDN семейства EiceDRIVER поставляются в стандартных для отрасли 8-выводных корпусах и содержат два независимых, неизолированных драйвера нижнего

плеча, каждый из которых может принимать пиковый втекающий ток до 5 А. Типовые времена нарастания и спада выходного напряжения в обоих каналах равны всего 5 нс, а несогласованность этих времен не превышает 1 нс, что делает возможным использование микросхемы для синхронного включения двух ключей при необходимости увеличения коммутируемого тока. Несмотря на большие допустимые токи, выходные каналы имеют очень низкое сопротивление в открытом состоянии, позволяющее свести к минимуму потери мощности в микросхемах драйверов даже при очень маленьком сопротивлении резистора в цепи затвора внешнего транзистора, или вообще при отсутствии резистора. Исключительная устойчивость к отрицательным броскам напряжения обеспечивается способностью выводов управления и разрешения без повреждения выдерживать напряжения постоянного тока до  $-10$  В.

### Доступность

Уже началось массовое производство драйверов MOSFET 2EDN7524 в корпусах DSO с цепью блокировки при пониженном входном напряжении, настроенной на порог 4 В. Выпуск вариантов с порогом 8 В и версий в корпусах TSSOP с порогами 4 В и 8 В начнется в январе 2016 года. Приборы в корпусах WSON с порогами блокировки 4 В и 8 В появятся в первом квартале 2016 г.

## Технология постоянного импеданса компании IDT улучшает эксплуатационные характеристики новых радиочастотных SPDT коммутаторов

*В процессе переключения коммутатор F2923 компании IDT обеспечивает постоянный импеданс на всех портах без ухудшения изоляции, линейности и вносимых потерь*

Integrated Device Technology (IDT) анонсировала первый в отрасли однополюсный высокочастотный коммутатор на два направления (SPDT), в котором реализована патентованная компанией технология постоянного импеданса  $K_{|z|}$ . Микросхема F2923 абсорбирующего SPDT переключателя с малыми вносимыми потерями разработана для множества радиочастотных приложений, включая базовые станции (2G, 3G, 4G, 5G), беспроводные транзитные сети, кабельное телевидение и портативные устройства.



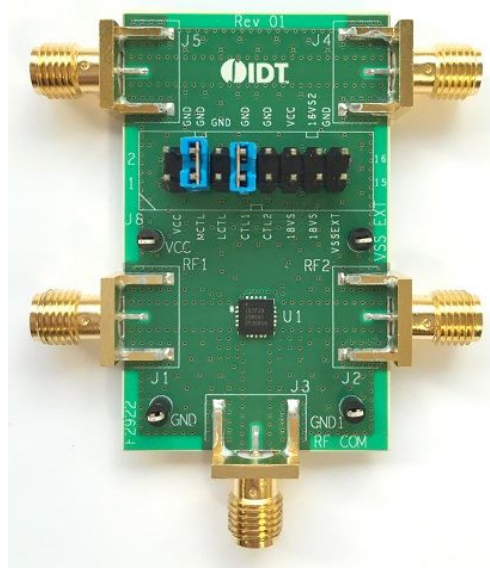
При переключениях между всеми высокочастотными портами функция  $K_{|Z|}$  позволяет управлять их импедансами, сохраняя неизменный уровень возвратных потерь. При переключении ВЧ путей стандартными устройствами без функции  $K_{|Z|}$  создается большая стоячая волна напряжения (КСВН) вследствие недостаточно хорошего контроля импеданса в процессе коммутации. Стоячая волна может стать причиной деградации характеристик системы и снижения ее надежности. Преимуществами  $K_{|Z|}$  в различных сценариях динамической или «горячей» коммутации являются:

- Минимизация затягивания частоты синтезатора при переключениях прием/передача и времени восстановления в системах дуплексной связи с временным разделением каналов;
- Исключение повреждений и опасных переходных процессов при переключении между двумя ВЧ элементами, такими как усилители мощности, драйверы и малошумящие усилители;
- Минимизация переходных амплитудных и фазовых ошибок на нескоммутированном пути (или путях) при подключении к распределительным сетям, таким как 3 дБ ответвители или разветвители на 4 направления.

В дополнение к технологии  $K_{|Z|}$  прибор обеспечивает следующие параметры:

- Вносимые потери на частоте 2 ГГц составляют лишь 0.48 дБ;
- Уровень точки пересечения интермодуляции третьего порядка (IIP3) находится выше 66 дБм (на 2 ГГц);
- Лучшая в отрасли изоляция: 74 дБ на частоте 2 ГГц.

Покрывая широкий частотный диапазон от 300 кГц до 8000 МГц, инновационная технология  $K_{|Z|}$  компании IDT гарантирует, что при переключении с одного ВЧ порта на другой устройство обеспечит практически постоянный импеданс (КСВН менее 1.4:1 в сравнении с 9:1 у стандартных коммутаторов) без снижения качества изоляции, ухудшения линейности и без роста вносимых потерь. F2923 питается положительным напряжением одного источника 3.3 В и поддерживает стандартные логические уровни управления 1.8 В и 3.3 В.



Оценочная плата для SPDT коммутатора F2923.

## Доступность

В настоящее время доступны образцы коммутатора F2923 в 20-выводных корпусах TQFN размером 4 × 4 мм.

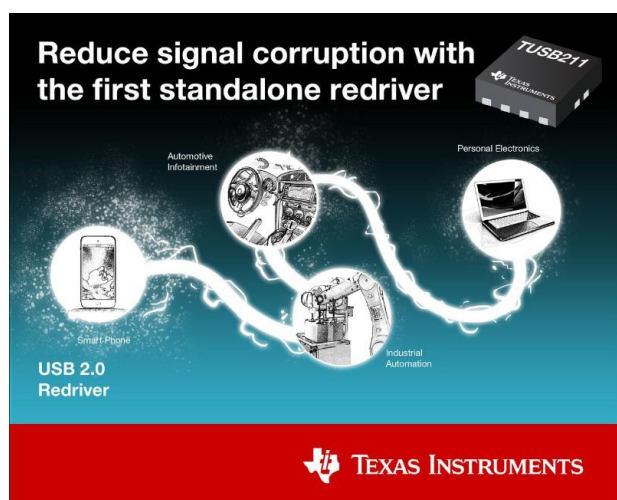
## Texas Instruments дебютирует с автономным редрайвером USB 2.0, улучшающим целостность сигналов в автомобильных приложениях

*Высокоскоростной редрайвер позволит разработчикам сократить размеры, стоимость и потребление мощности автомобильных информационно-развлекательных систем*

Texas Instruments (TI) представила первую в отрасли микросхему автономного редрайвера USB 2.0. Высокоскоростной двунаправленный редрайвер TUSB211, отвечающий

требованиям стандарта AEC-Q100, разработан для улучшения целостности сигналов USB в автомобильных информационно-развлекательных системах. Новая микросхе-

ма потребляет на 40% меньше мощности, чем используемые для выполнения этой функции существующие хабы, имеет небольшие габариты и уникальное расположение выводов, снижающие размеры конечного устройства, а также содержит встроенные средства калибровки для сокращения времени оценки и оптимизации параметров системы. Перечисленные характеристики особенности позволят разработчикам сократить размеры, стоимость и потребление мощности автомобильных информационно-развлекательных систем, обеспечивающих функции навигации, соединение с мобильными устройствами и другие мультимедийные возможности.



## Основные особенности и преимущества редрайвера TUSB211

- **Простота оценки:**

В отличие от существующих решений, основанных на использовании хабов, TUSB211 не нарушает целостности сигналов на печатных платах. Это дает возможность пропускать существующие сигналы насквозь и не разрывать проводники при добавлении редрайвера на печатную плату.

- **Ультранизкое потребление мощности:**

В активном режиме TUSB211 потребляет менее 55 мВт, что на 40% меньше мощности, при той же скорости рассеиваемой существующими решениями на основе хабов. Микросхема поддерживает обмен по USB со скоростью до 480 Мбит/с.

- **Небольшая площадь корпуса:**

Редрайвер выпускается в 12-выводном супертонком квадратном безвыводном

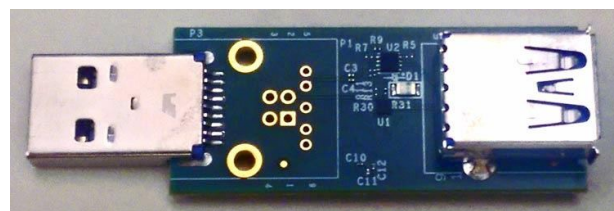
корпусе X2QFN размером 1.6 × 1.6 мм, экономя разработчикам до 60% площади платы и делая ненужным использование крупных хабов.

- **Полное соответствие стандартам USB:**

TUSB211 отвечает требованиям протоколов USB1.0/1.1, USB 2.0, USB On-the-Go (OTG) и Battery Charging (BC) 1.2. Благодаря двунаправленности прибор динамически улучшает качество сигнала в обоих направлениях, независимо от того, какое устройство является ведущим, а какое периферийным.

## Инструментальные средства ускорения разработки

Для упрощения создания систем с интерфейсом USB 2.0 разработчики могут за \$199 заказать непосредственно у TI или ее у авторизованных дистрибьюторов оценочный модуль TUSB211RPTREVM, содержащий одноканальный LDO стабилизатор напряжения LP5907. Инженеры могут начать разработку с базового проекта переходного устройства USB 2.0, USB 3.0 TIDA-00625, выполненного в форме электронного ключа.



Базовый проект TIDA-00625 USB 2.0, USB 3.0.

В сообществе пользователей TI E2E и на форумах USB инженеры могут поискать готовые решения, получить помощь, поделиться знаниями и решить проблемы со своими коллегами и экспертами TI.

## Цены и доступность

Микросхемы TUSB211 выпускаются серийно. В партиях из 1000 приборов их можно приобрести по цене \$1.55 за штуку. При таких же условиях поставки автомобильные версии TUSB211-Q1 стоят \$1.83. Новые редрайверы дополняют объемный портфель приборов, выпускаемых TI для поддержки USB, включая контроллер хаба USB 2.0 TUSB4020BI, переключатель USB 2.0 TS3USB221A и хаб USB 2.0 TUSB40421.

# настоящее немецкое качество

**Testboy**  
GmbH, Germany

контрольно-  
измерительное  
оборудование

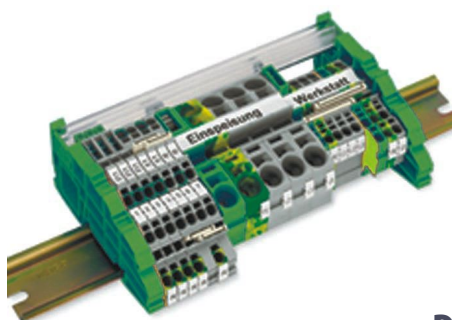


»»» **JOKARI**<sup>®</sup>  
original

инструмент для  
разделки кабеля  
и снятия изоляции



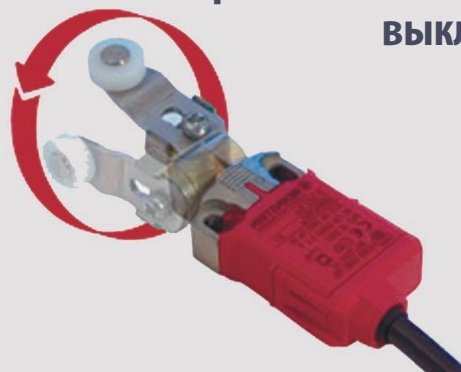
**WAGO**<sup>®</sup>  
INNOVATIVE CONNECTIONS



клеммы  
на DIN рейку  
и для печатных плат

**BERNSTEIN**  
safe solutions

промышленные корпуса  
выключатели  
датчики



**ДЕЦИМА**

ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ**

**WWW.DECIMA.RU**

МОСКВА, ЗЕЛЕНОГРАД, +7(495) 988-4858



# Управление питанием радиочастотных микросхем

Qui Luu, Analog Devices

Analog Dialogue

По мере увеличения сложности радиочастотных интегральных схем (ИС) возрастает и количество шумовых связей между их блоками, что требует еще более внимательного отношения к вопросам управления питанием. В этой статье рассказывается, каким образом шумы источников питания влияют на характеристики радиочастотных ИС. Квадратурный демодулятор ADRF6820, в который интегрированы схема фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и генератор, управляемый напряжением (ГУН), будет рассматриваться лишь в качестве примера, однако результаты применимы к широкому кругу других радиочастотных микросхем.

Шум источника питания может ухудшить линейность из-за появления побочных продуктов преобразования в демодуляторе, а также увеличить фазовые шумы в ФАПЧ и

ГУН. Проведенный ниже детальный анализ будет подкреплен рекомендациями по конструированию источников питания с использованием LDO регуляторов и импульсных преобразователей.

Прекрасным примером для дальнейшего обсуждения может служить радиочастотная микросхема ADRF6820 с высокой степенью интеграции и двумя напряжениями питания. В ней используется ядро активного смесителя, похожее на ядро микросхемы ADL5380, и блоки ФАПЧ/ГУН, идентичные блокам квадратурного демодулятора ADRF6720, поэтому все сказанное ниже будет относиться и к этим компонентам. Кроме того, рекомендации по конструированию источников питания могут быть отнесены и к любым другим схемам, требующим напряжения питания 3.3 В или 5 В и сходным по потреблению мощности.

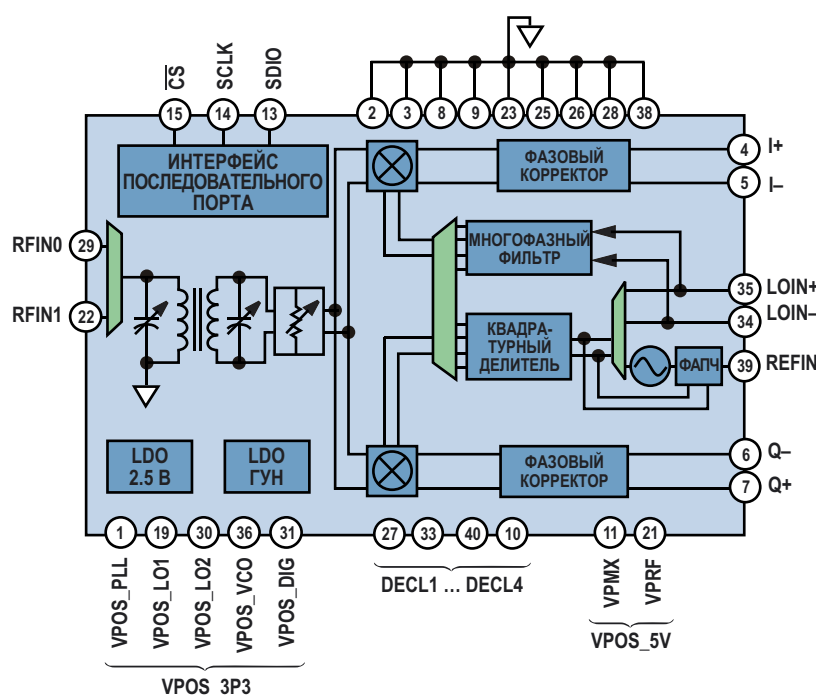


Рисунок 1. Упрощенная блок-схема синтезатора ADRF6820.

Показанный на Рисунке 1 квадратурный демодулятор и синтезатор ADRF6820 идеально подходит для коммуникационных систем следующего поколения. В этом многофункциональном устройстве содержатся высоколинейный широкополосный I/Q-демодулятор, ФАПЧ с дробным коэффициентом деления и многоядерный ГУН с низким уровнем фазовых шумов. Кроме того, в микросхему интегрированы высокочастотный мультиплексор 2:1, перестраиваемый радиочастотный симметрирующий трансформатор, программируемый ВЧ аттенюатор и два LDO регулятора. Микросхема выпускается в корпусе LFCSP размером 6 × 6 мм.

### Чувствительность источников питания

В наибольшей степени влиянию шумов источника питания подвержены ядро смесителя и синтезатор. Шумы, проникающие в ядро синтезатора, создают побочные составляющие в спектре сигнала, ухудшающие линейность и динамический диапазон. Это особенно важно для квадратурных детекторов, поскольку низкочастотные продукты преобразования попадают в интересующую полосу частот. Аналогичным образом шумы источника питания могут увеличить фазовые шумы узлов ФАПЧ и ГУН. Эффект возникновения побочных продуктов преобразования и роста фазовых шумов является общим для большинства смесителей и синтезаторов, но конкретная степень ухудшения их параметров определяется архитектурой и топологией кристалла. Понимание влияния этих шумов позволит конструировать более надежные источники питания, оптимизирующие характеристики и эффективность.

### Чувствительность квадратурного демодулятора

В микросхеме ADRF6820 используется ядро двойного балансного смесителя, основанное на ячейке Гильберта, изображенное на Рисунке 2. «Двойной балансный» означает, что как вход гетеродина, так и сигнальный порт управляются дифференциально.

После того, как гармоники высших порядков будут обрезаны фильтром, на выходах смесителя останутся сумма и разность частот сигналов на входах ВЧ и гетеродина. Разность, называемая также промежуточной

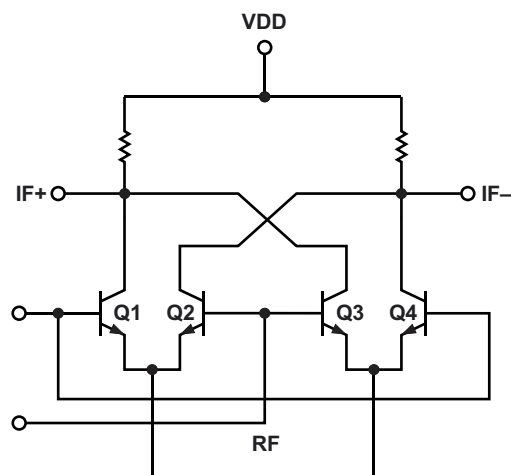


Рисунок 2. Ячейка Гилберта, используемая в двойном балансном активном смесителе.

частотой (ПЧ), лежит внутри интересующей полосы частот и является полезным сигналом. Сумма находится вне этой полосы и подлежит фильтрации.

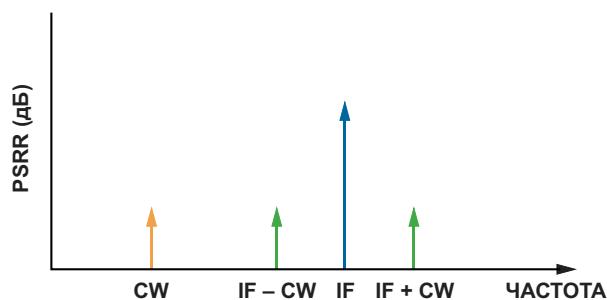


Рисунок 3. Пример спектра выходного сигнала смесителя при проникновении шумов в шину питания.

В идеале, в ядре смесителя должны присутствовать только полезные сигналы высокой частоты и гетеродина, но такое бывает редко. Шумы источника питания могут проникать на входы смесителя и проявлять себя в форме паразитных составляющих спектра. В зависимости от источника проникающих шумов, относительные амплитуды этих составляющих могут различаться. На Рисунке 3 изображен пример спектра выходного сигнала смесителя, в котором могут присутствовать продукты преобразования, обусловленные проникновением шумов источника питания. На этом и последующем рисунках, а также ниже в тексте, будут использоваться обозначения:

- CW – непрерывный сигнал или синусоидальный сигнал, проникающий на шину питания;

- IF – промежуточная частота;
- LO – сигнал гетеродина;
- RF – входной радиочастотный сигнал.

Сигналом CW может быть, например, частота переключения 600 кГц или 1.2 МГц импульсного преобразователя напряжения. Шум источника питания может стать причиной возникновения двух различных проблем. Если шум проникает на выходы смесителя, сигнал с частотой CW появится на выходе без преобразования частоты. Если же шум пропадет в смеситель со стороны его входов, CW будет модулировать сигналы RF и LO, создавая продукты с частотами  $IF \pm CW$ .

Эти продукты преобразования могут оказаться ближе к требуемой промежуточной частоте, что делает их фильтрацию затруднительной и неизбежно приводит к потерям динамического диапазона. Сказанное особенно справедливо для квадратурных демодуляторов, поскольку их спектр модулирующего сигнала сложен и сосредоточен вокруг нулевой частоты. Полоса демодуляции ADRF6820 занимает область от постоянного тока до 600 МГц. Если для питания ядра смесителя используется импульсный стабилизатор напряжения с частотой переключения 1.2 МГц, нежелательные продукты преобразования будут располагаться на частотах  $IF \pm 1.2$  МГц.

## Чувствительность синтезаторов частоты

Исчерпывающую информацию о влиянии шумов источников питания на встроенные узлы ФАПЧ и ГУН можно найти по ссылкам, приведенным в конце статьи ([1], [2]). Изложенные там соображения применимы и к другим конструкциям аналогичной архитектуры, но в каждом случае нужна индивидуальная оценка необходимой мощности и способа ее обеспечения. Например, устойчивость к шумам встроенного ГУН микросхемы ADRF6820 за счет использования внутреннего LDO регулятора выше, чем у цепи ФАПЧ, питание которой не может быть подключено к интегрированному LDO регулятору.

## Источник питания для ADRF6820 и ток потребления

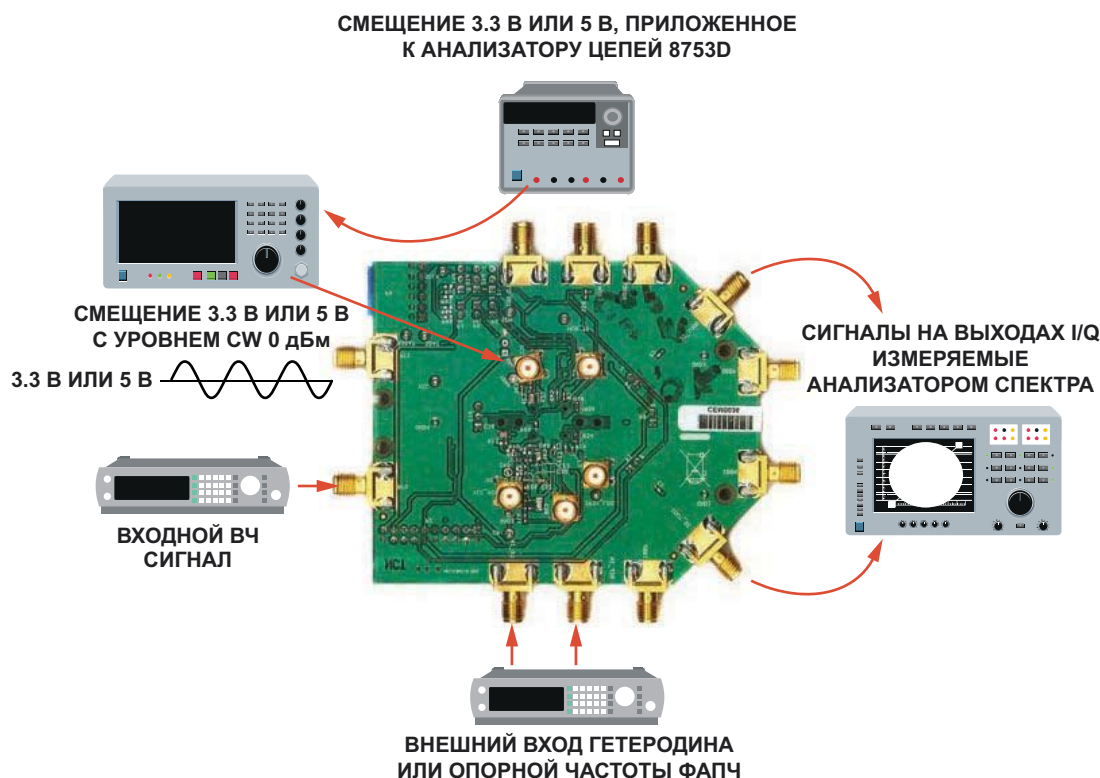
Для разработки системы управления питанием, прежде всего, необходимо, рассматривая радиочастотную ИС как совокупность блоков, потребляющих электрическую энер-

гию, определить, какие требования предъявляются к питанию каждого из них, каково их потребление и как на него влияют режимы работы микросхемы, а также для каждого блока оценить уровень подавления пульсаций питания. На основе этой информации можно собрать данные о чувствительности радиочастотной микросхемы.

Каждый из основных функциональных блоков ADRF6820 имеет собственный внутренний вывод питания. Два блока питаются напряжением 5 В. Вывод VPMX предназначен для питания ядра смесителя, а напряжение VPRF поступает на цепи обработки радиосигнала и входные коммутаторы. Для остальных блоков требуется напряжение питания 3.3 В. Напряжение VPOS\_DIG стабилизируется встроенным LDO регулятором на уровне 2.5 В и используется для питания интерфейса SPI, - модулятора схемы ФАПЧ и делителей синтезатора частот. Напряжение VPOS\_PLL поступает на схему ФАПЧ, в том числе, на источник входной опорной частоты (REFIN), фазочастотный детектор и зарядовый насос. VPOS\_LO1 и VPOS\_LO2 обеспечивают питание путь прохождения сигнала гетеродина, включая усилитель и опорный источник постоянного смещения. Вывод VPOS\_VCO связан с еще одним встроенным LDO регулятором, выходное напряжение 2.8 В которого потребляется многоядерным ГУН. Использование LDO регуляторов важно для снижения чувствительности к шумам источника питания.

Микросхему ADRF6820 можно сконфигурировать для работы в нескольких режимах. В обычном режиме при частоте гетеродина 2850 МГц она потребляет менее 1.5 мВт. Уменьшение тока смещения снижает как потребление мощности, так и функциональные характеристики. Увеличение тока смещения смесителя делает его ядро более линейным и улучшает параметр IIP3 (входная точка пересечения интермодуляции третьего порядка), но ухудшает коэффициент шума и увеличивает расход энергии. Если первостепенное значение имеет коэффициент шума, ток смещения смесителя можно уменьшить, выиграв как в шумовых характеристиках ядра смесителя, так и в энергопотреблении. Точно так же можно управлять выходным током усилителей, увеличивая его для низкоимпедансных выходных нагрузок, и, соответственно, увеличивая потребляемую мощность. В справочных данных приводятся таблицы с данными о потреблении мощности для каждого режима работы.





**Рисунок 4.** Лабораторная установка для измерения коэффициента подавления пульсаций питания микросхемы ADRF6820.

## Процедура и результаты измерений

Проникающий в шины питания шум приводит к появлению паразитных составляющих спектра с частотами  $CW$  и  $IF \pm CW$ . Для имитации такой шумовой связи подайте сигнал  $CW$  на каждый вывод питания и измерьте амплитуду результирующего продукта преобразования относительно входного уровня  $CW$ . Запишите результат как коэффициент подавления пульсаций питания (PSRR) в дБ. PSRR зависит от частоты, поэтому включите в генераторе качание частоты  $CW$  от 30 кГц до 1 ГГц. Измерение коэффициента подавления пульсаций питания во всей рабочей полосе частот позволит определить, требуются ли в схеме дополнительные элементы фильтрации. PSRR вычисляется как:

- $CW$  PSRR [дБ] = входная амплитуда  $CW$  [дБм] – измеренное проникание  $CW$  на выход I/Q [дБм];
- $(IF \pm CW)$  PSRR [дБ] = входная амплитуда  $CW$  [дБм] – измеренное проникание  $IF \pm CW$  на выход I/Q [дБм];

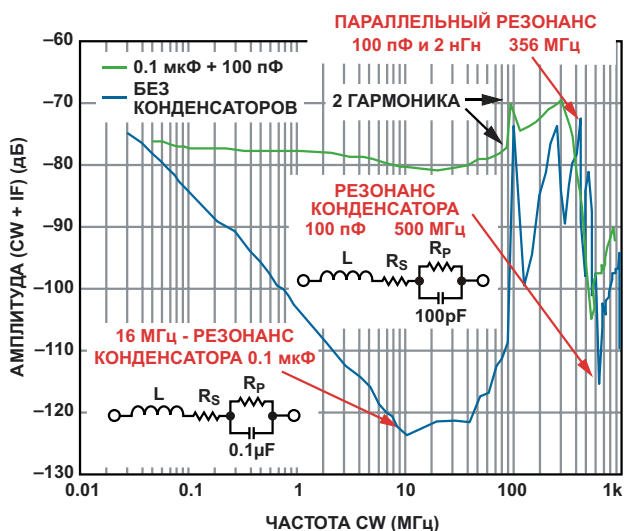
- $(IF + CW)$  [дБм] =  $(IF - CW)$  [дБм], поскольку боковые гармоники несущей частоты, модулированной  $CW$ , имеют равные амплитуды.

## Лабораторная установка

На Рисунке 4 показана схема лабораторной испытательной установки. Подключите источник напряжения постоянного тока 3.3 В или 5 В к анализатору цепей, чтобы получить свипируемый синусоидальный сигнал, смещенный на 3.3 или 5 В. Подайте этот сигнал на каждую из шин питания радиочастотной ИС. Два генератора будут заменять входной сигнал смесителя (RF) и сигнал гетеродина (LO). Измерьте параметры выходного сигнала анализатором спектра.

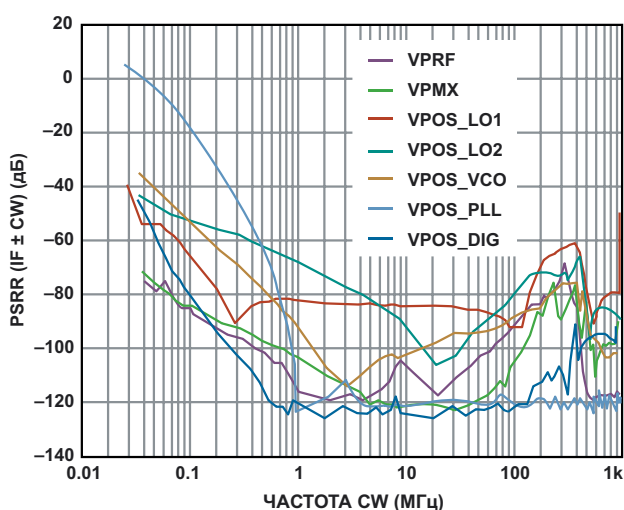
## Процедура измерений

Амплитуда паразитных продуктов преобразования зависит от способности микросхемы подавлять пульсации напряжения питания, а также от размеров и расположения развязывающих конденсаторов на демо-



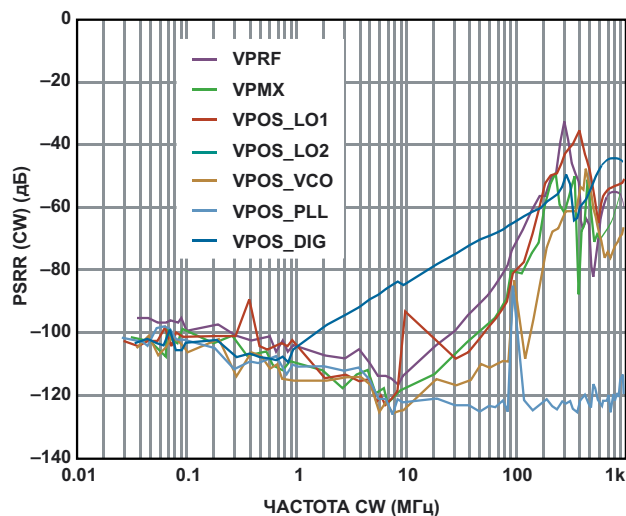
**Рисунок 5.** Влияние резонанса развязывающего конденсатора на амплитуду  $IF \pm CW$ .

настраиваемой плате. На Рисунке 5 показана зависимость амплитуды суммарной частоты ( $IF + CW$ ) от частоты проникающего сигнала  $CW$  с уровнем 0 дБ, инжектированного в вывод питания. При отсутствии развязывающих конденсаторов амплитуда нежелательных составляющих находится в пределах диапазона  $-70$  дБн ...  $-80$  дБн. В справочных данных рекомендуется устанавливать конденсатор 100 пФ вблизи устройства на верхней стороне платы и конденсатор 0.1 мкФ с обратной стороны. На графиках хорошо видны резонансы этих внешних конденсаторов. Провал в районе 16 МГц обусловлен конденсатором 0.1 мкФ с паразитной индуктивностью 1 нГн. Пик на частоте 356 МГц связан с параллельным резонансом конденсатора 100 пФ и суммарной паразитной индук-



**Рисунок 6.** Коэффициент подавления пульсаций питания на частотах  $IF \pm CW$ .

тивности 2 нГн обоих конденсаторов. На частоте 500 МГц можно наблюдать резонанс конденсатора 100 пФ и паразитной индуктивности 1 нГн.



**Рисунок 7.** Подавление сигнала  $CW$ .

## Результаты

Амплитуды мешающего сигнала ( $CW$ ) на шине питания и модулированных сигналов ( $IF \pm CW$ ) измерялись на соответствующих выходах микросхемы. Шум подмешивался в проверяемые шины питания, в то время как остальные шины оставались чистыми от помех. На Рисунке 6 показана амплитуда составляющей ( $IF \pm CW$ ), когда на вход питания вводится синусоидальный сигнал с уровнем 0 дБ и свипируется в диапазоне от 30 кГц до 1 ГГц. Рисунок 7 иллюстрирует прохождение сигнала частоты  $CW$  на выходы микросхемы.

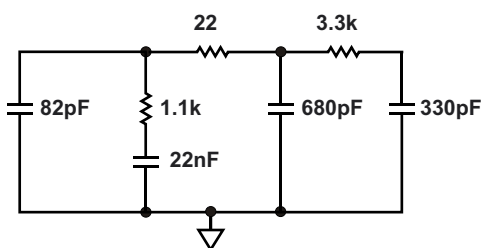
## Анализ

Графики дают неоценимую информацию о чувствительности каждого вывода питания. Хуже всего подавляются пульсации питания на внутренней шине  $VPOS\_PLL$ , поэтому она наиболее чувствительно к помехам. К этой шине подключена схема ФАПЧ, включая вход опорной частоты, фазочастотный детектор и зарядовый насос. Эти чувствительные функциональные блоки определяют точность и фазовые характеристики сигнала гетеродина, поэтому любые связанные с ними шумы проникают прямо на выход.

Основываясь на аналогичных рассуждениях, можно утверждать, что источник питания ГУН также является критически важным

узлом. Графики показывают, что на внутреннем выводе VPOS\_VCO пульсации питания подавляются намного лучше, чем на VPOS\_PLL. Это объясняется наличием внутреннего LDO регулятора в цепи питания ГУН. LDO регулятор изолирует ГУН от шумов на внешнем выводе, а также поддерживает в нем фиксированную спектральную плотность шума. Источник питания схемы ФАПЧ не имеет регулятора, что делает шину его питания самой чувствительной к помехам. Таким образом, его изоляция от возможного проникновения шумов имеет критическое значение для достижения оптимальных характеристик.

Фильтр петли ФАПЧ ослабляет высокие частоты  $CW$ , поэтому устойчивость VPOS\_PLL к шумам, достаточно плохая на низких частотах, постепенно улучшается по мере увеличения частоты от 30 кГц до 1 ГГц. На более высоких частотах амплитуды интерференционных продуктов начинают ослабляться фильтром, и уровень мощности, проникающей в схему ФАПЧ, существенно снижается. Таким образом, на высоких частотах коэффициент подавления пульсаций питания VPOS\_PLL лучше, чем у остальных блоков микросхемы. На Рисунке 8 показана схема фильтра ФАПЧ, номиналы компонентов которой рассчитаны на частоту 20 кГц.



**Рисунок 8.** Фильтр ФАПЧ для полосы пропускания 20 кГц.

Список внутренних шин питания, расположенных по убыванию степени их восприимчивости к шумам, выглядит так: VPOS\_PLL, VPOS\_LO2, VPOS\_VCO, VPOS\_LO1, VPOS\_DIG, VPMX и VPRF.

## Конструкция источника питания

Досконально разобравшись с максимальной мощностью, потребляемой микросхемой ADRF6820 в различных режимах ее работы,

а также в чувствительности ее шин питания к шумам, можно приступить к конструированию системы управления питанием, используя как импульсные, так и LDO регуляторы напряжения, чтобы определить целесообразность тех или иных решений. Прежде всего, напряжение 6 В входного источника с помощью стабилизаторов понижается до 5 В и 3.3 В, необходимых шинам питания ADRF6820. Схема 5-вольтового источника для шин VPMX и VPRF изображена на Рисунке 9. Максимальный выходной ток КМОП LDO стабилизатора ADP7104 равен 500 мА. Понижающий импульсный преобразователь ADP2370 с низким собственным током потребления может работать на частотах 1.2 МГц или 600 кГц. Выходное напряжение импульсного преобразователя требует дополнительной фильтрации для ослабления шумов переключения. ADP2370 может отдавать в нагрузку ток до 800 мА. Для питания 5-вольтовой шины ADRF6820 можно использовать как ADP7104, так и ADP2370. К каждому выводу подключаются дополнительные элементы развязки и фильтрации.

На Рисунке 10 представлена схема источника питания 3.3 В. Входное напряжение невелико, и равно всего 6.0 В, но, тем не менее, прежде чем попасть на стабилизаторы 3.3 В, оно понижается до промежуточного значения дополнительным LDO регулятором. Дополнительный каскад необходим для того, чтобы уменьшить потери мощности, поскольку при прямом подключении напряжения 6 В к стабилизаторам 3.3 В их максимальный КПД составил бы лишь 55%. Промежуточный каскад после импульсного регулятора не нужен, так как архитектура ШИМ сама по себе минимизирует потери мощности.

Напряжение 3.3 В давало больше простора для экспериментов. Помимо входного импульсного или LDO стабилизатора 3.3 В шина VPOS\_PLL имеет дополнительный LDO стабилизатор, а VPOS\_DIG – изолированный LDO стабилизатор, который может быть подключен установкой соответствующих битов в конфигурационном регистре. Ввиду особой чувствительности схемы ФАПЧ были испробованы три варианта ее питания, различавшихся, прежде всего, уровнями шумов на выходах используемых микросхем:

- сверхмалошумящий КМОП LDO регулятор ADP151 с напряжением выходного шума 9 мкВ с.к.з.,



- малошумящий КМОП LDO регулятор ADP7104 с напряжением выходного шума 15 мкВ с.к.з.,
- понижающий преобразователь ADP2370.

Мы поставили перед собой задачу определить наибольший уровень помех на шине

питания, при котором фазовые шумы еще не превышают требуемых значений. Так ли уж важно, чтобы LDO имел сверхвысокие параметры и сверхнизкие шумы?

Чтобы узнать, в какой степени цифровые шумы могут влиять на характеристики АЦП,

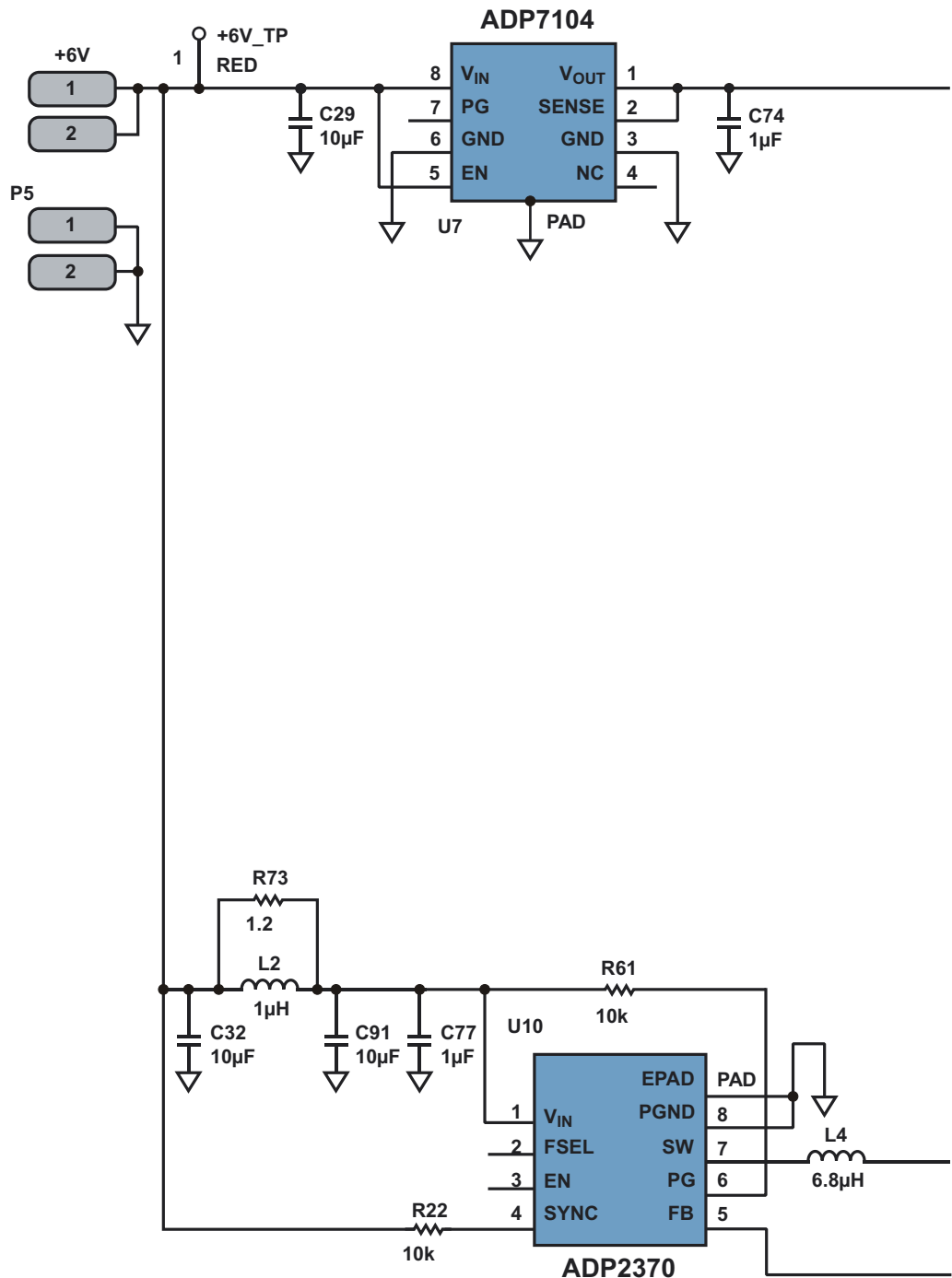
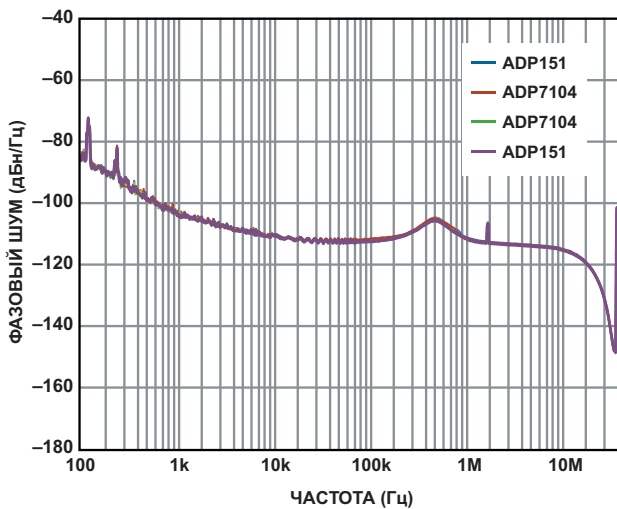
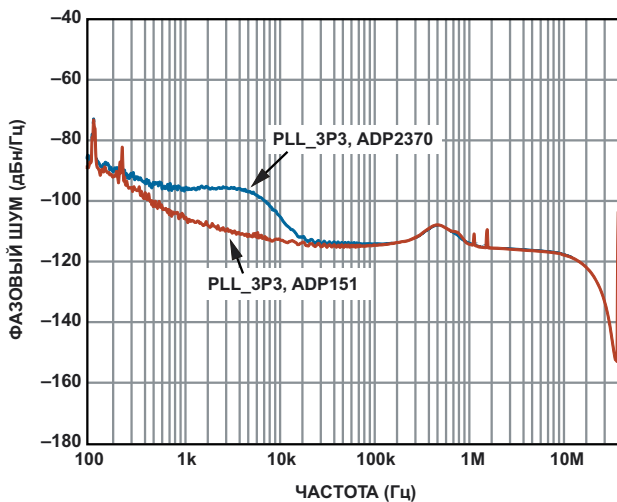


Рисунок 10. Схема источника питания 3.3 В.

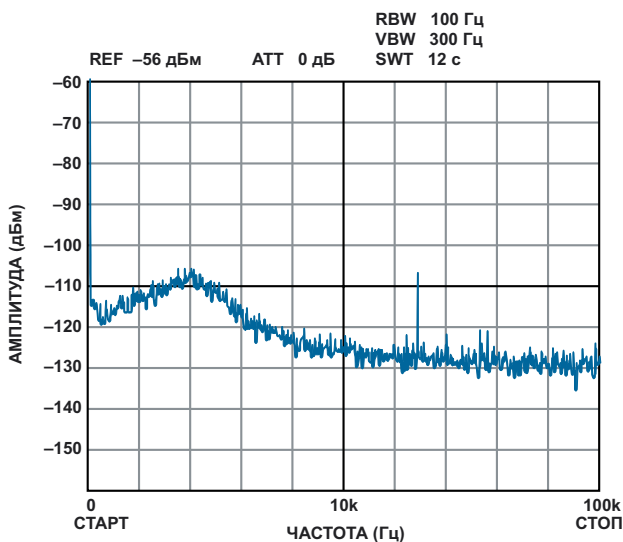




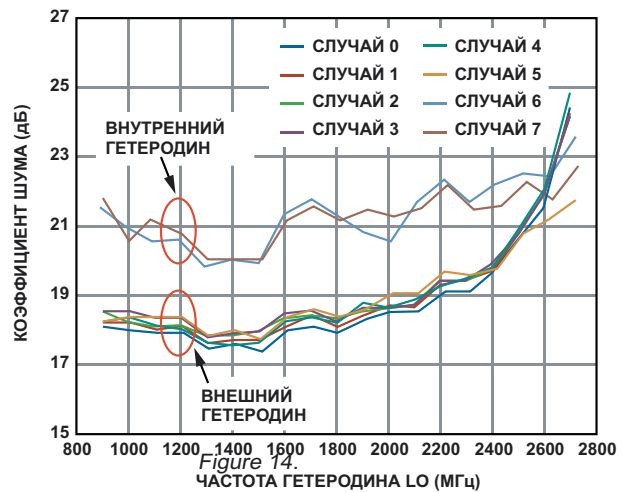
**Рисунок 11.** Интегрированный фазовый шум при использовании ADP151 и ADP7104.



**Рисунок 12.** Интегрированный фазовый шум при использовании ADP151 и ADP2370.



**Рисунок 13.** Спектр выходного сигнала микросхемы ADP2370.



**Рисунок 14.** Сравнение шумов, создаваемых импульсным и LDO стабилизаторами напряжения.

## Выводы и рекомендации по конструированию источника питания

Для VPOS\_PLL, самой чувствительной шины питания, простой LDO регулятор ADP151 обеспечивает такой же уровень фазовых шумов, как и намного более качественный малошумящий прибор ADP7104 (Рисунок 11). Однако при использовании импульсного преобразователя ADP2370, как видно из Рисунка 12, характеристики ухудшаются. Локальный всплеск уровня шумов связан с работой импульсного преобразователя и может наблюдаться на его выходе (Рисунок 13). Таким образом, если напряжение шумов на шине VPOS\_PLL не превышает 15 мкВ с.к.з., увеличения уровня интегрированных фазовых шумов не происходит, но использовать для питания этого вывода импульсный стабилизатор нельзя. Замена LDO регулятора прибором с более высокими характеристиками и меньшими шумами никакого выигрыша не дает.

Хороший уровень фазовых шумов можно обеспечить при питании оставшихся шин как импульсными, так и LDO регуляторами (Рисунок 14). Входы 5-вольтового питания VMPX и VPRF можно соединить вместе и подключить их к одному источнику питания. Точно так же, VPOS\_LO1, VPOS\_LO2 и VPOS\_VCO можно соединить и подключить к источнику 3.3 В. Для вывода VPOS\_DIG отдельный LDO регулятор не требуется, и его можно подключить к шине аналогового питания 3.3 В.

Если входное напряжение системы равно 6 В, можно рекомендовать схему источника питания, изображенную на Рисунке 15, в которой используются LDO стабилизаторы ADP7104 с фиксированными выходными напряжениями 5.0 В и 3.3 В. В этом решении

применяются только LDO регуляторы, поскольку напряжение источника близко к требуемым напряжениям питания. Эффективность использования мощности здесь вполне приемлемая, поэтому дополнительные затраты на компоненты фильтров будут излишними.

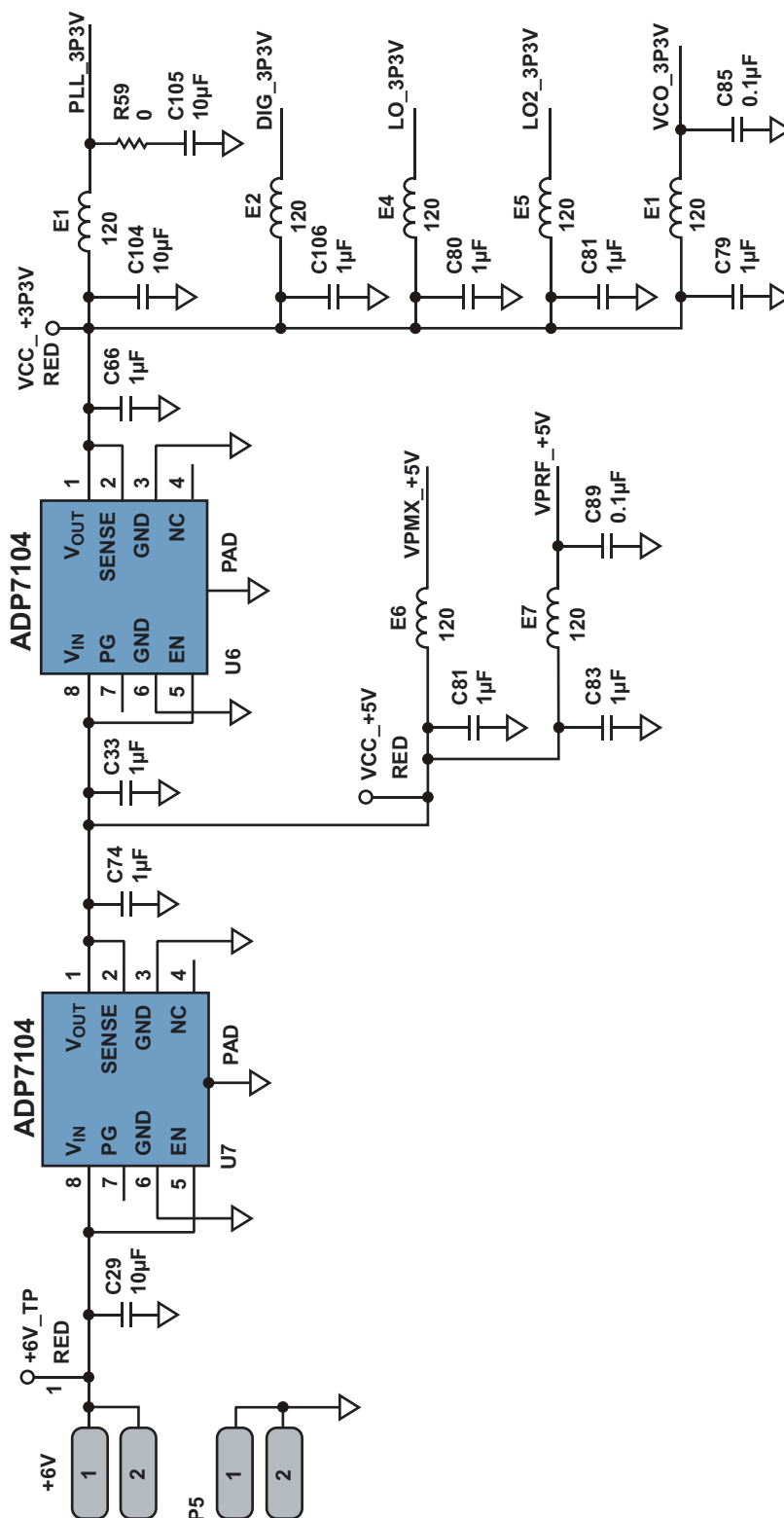


Рисунок 15. Рекомендуемая схема источника питания при входном напряжении 6 В.



Для входного напряжения 12 В рекомендуется показанная на Рисунке 16 схема источника питания с двумя импульсными преобразователями и одним LDO. В данном случае напряжение источника существенно превосходит требуемые напряжения питания, поэтому для улучшения КПД схемы необходимо

использовать импульсные преобразователи. Все контакты питания, за исключением чувствительного вывода VPOS\_PLL, можно подключить к импульсным стабилизаторам. Для питания вывода VPOS\_PLL можно использовать микросхемы ADP7104 или ADP151. **РЛ**

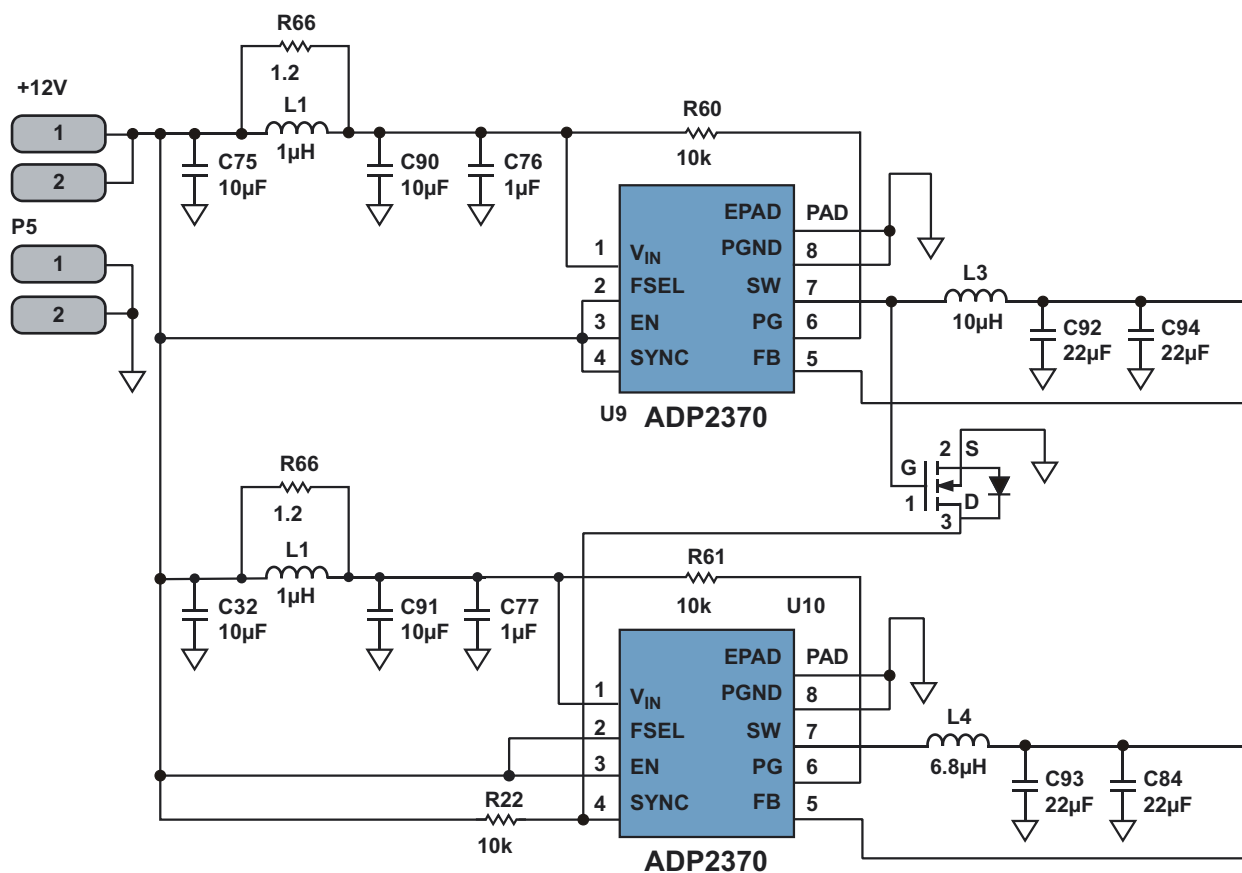


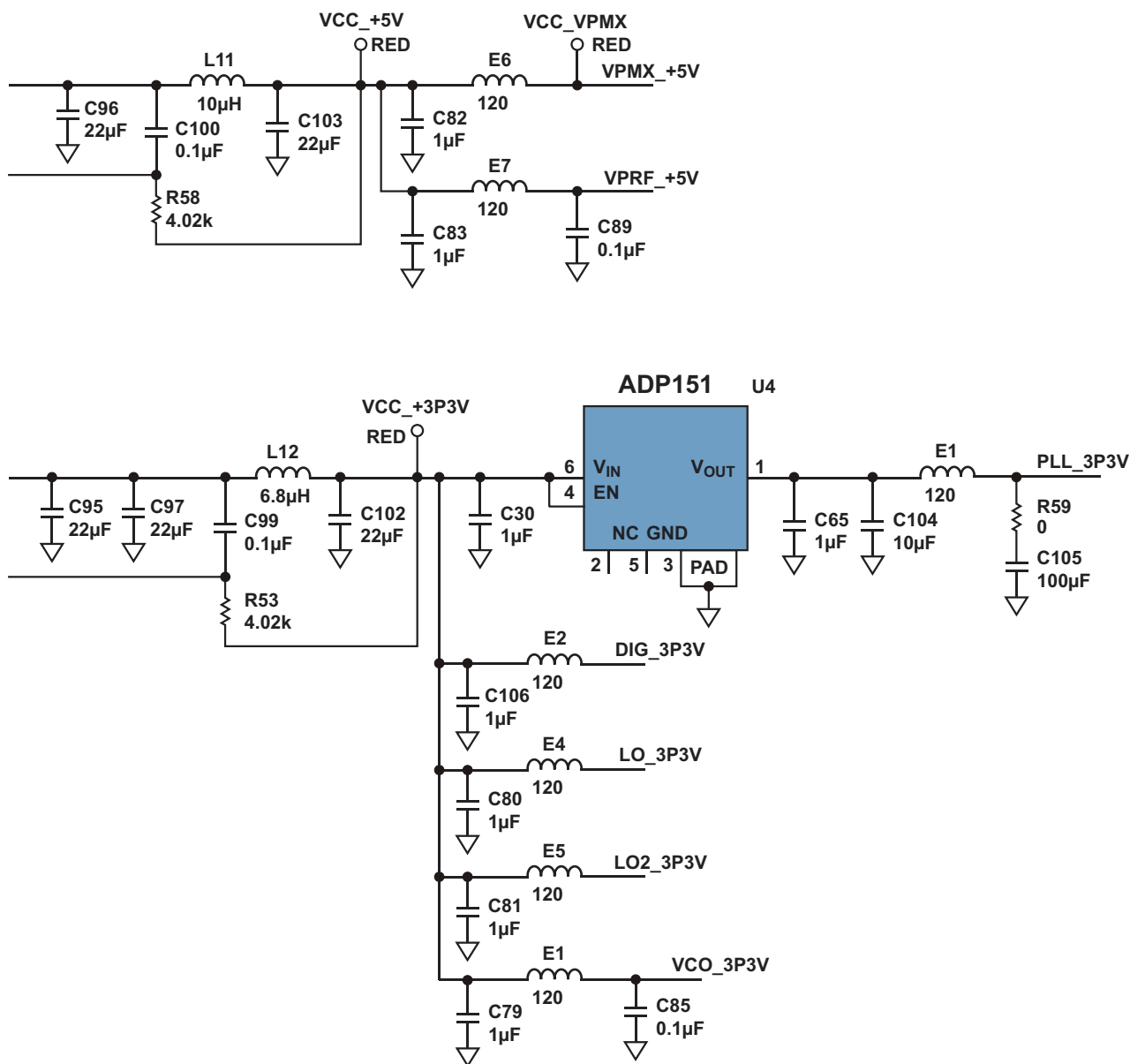
Рисунок 16. Рекомендуемая схема источника питания при входном напряжении 12 В.

## Ссылки

1. Circuit Note CN0147. Powering a Fractional-N Voltage-Controlled Oscillator (VCO) with Low

Noise LDO Regulators for Reduced Phase Noise. Analog Devices, Inc., 2010.

2. Collins, Ian. Integrated PLLs and VCOs [Part 2]. Radio-Electronics.com, Nov 2010.



# 9 ноября 1922 г. Эйнштейн получил Нобелевскую премию по физике

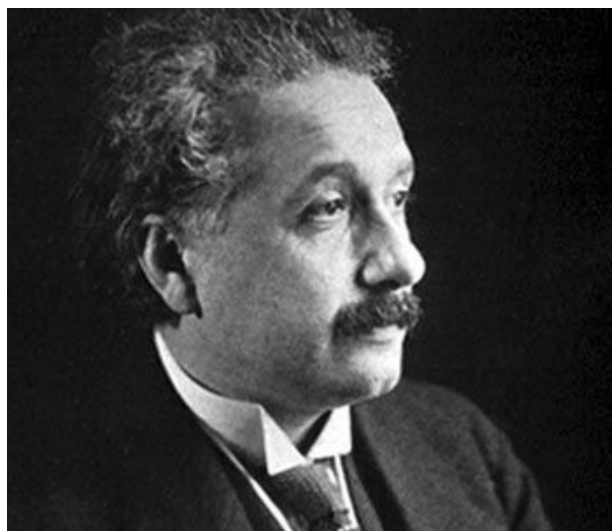
Amy Norcross

EDN

**А**льберт Эйнштейн, родившийся 14 марта 1879 года в Ульме, Германия, был одним из самых известных и влиятельных физиков двадцатого столетия. 9 ноября 1922 г. он был номинирован на Нобелевскую премию по физике за 1921 с формулировкой «за заслуги в области теоретической физики и, в особенности, за открытие закона фотоэлектрического эффекта».

Фотоэлектрический эффект – это явление, выражающееся в эмиссии электронов с поверхности материала (обычно металла) при ее облучении светом. Для объяснения этого эффекта Эйнштейн предположил, что свет состоит из маленьких частиц, или квантов, названных фотонами, которые переносят энергию, пропорциональную частоте светового излучения. Поглотив в материале энергию, электроны испускают фотоны. Эти результаты он опубликовал в 1905 году в статье «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света». Вывод Эйнштейна о том, что фотоэлектрический эффект можно объяснить только допустив, что свет ведет себя как частица, а не волна, сыграл важную роль в создании гипотезы о корпускулярно-волновом дуализме, согласно которой свет является одновременно и частицей, и волной.

Фотоэлектрический эффект является движущей силой фотосинтеза. Кроме того, он составляет основу множества устройств, таких, например, как фотодиоды, используемые для детектирования света в волоконной



оптике, телекоммуникационных сетях, солнечных станциях, устройствах отображения и многих других приложениях.

Интересно отметить, что согласно отчетам Нобелевского комитета, Шведская королевская академия наук решила зарезервировать награду по физике 1921 года, и награждения в этой номинации в том году не было. Согласно статуту Нобелевской медали, резервная награда может быть присуждена годом позже, и Альберт Эйнштейн получил ее спустя год, в 1922 г.

Однако присутствовать 10 декабря на церемонии награждения в Стокгольме Эйнштейн не мог. Свою нобелевскую речь он произнес 11 июля 1923 г. в Гетеборге.

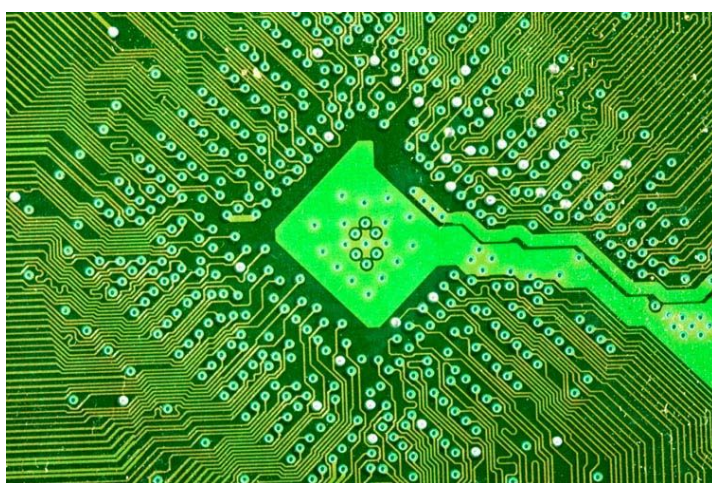
Скончался Эйнштейн 16 апреля 1955 г. в Принстоне, штат Нью-Джерси, США. **РЛ**

# Почему печатные платы зеленые?

Howard Goff, NCAB Group

Dataweek

*Так почему же они зеленые? Я не знал, и поэтому обратился к Google. Больше всего мне понравился ответ «по той же причине, почему джинсы синие, а такси в Нью-Йорке желтые». Что, на самом деле, не вполне верно.*



Есть множество теорий, объясняющих, почему печатные платы обычно имеют зеленый цвет. Их список простирается от ссылок на армию США, решившую, что это будет их стандарт, ставший потом общей нормой, до утверждений, что зеленый цвет обеспечивает более благоприятный для глаз цветовой контраст во время монтажа, или же что зеленый цвет является наиболее экологически дружелюбным.

Самые первые печатные платы появились в начале 1900-х годов, но вид, немного похожий на то, что мы наблюдаем в серийной продукции сегодня, они приобрели лишь в 1920-х, когда их стали использовать в конструкциях граммофонов и ламповых приемников. К 1950-м и 60-м годам начали применяться покрытия, основанные на использовании смесей различных смол, прежде всего, в электронике, предназначенной для нового оружия и коммуникационных систем.

Это было то время, когда в качестве паяльной маски использовалась простая

коричневато-желтая эпоксидная смола с отвердителем грязно-коричневого цвета. Смесь этих компонентов приобретала медово-коричневый оттенок, не отличавшийся особой привлекательностью. Предпринимались попытки добавлять красные пигменты, но тогда цвет покрытия становился ржавым, а использование синего пигмента просто делало коричневый цвет более темным.

Ни один из этих экспериментов не привел к получению приятных цветов. Появившийся позднее пленочный ламинат в своей основе имел зеленый оттенок, что побудило его производителей подмешивать желтые и синие красители, и в конечном итоге был получен приемлемый зеленый цвет, ставший стандартом, который мы видим сегодня. Таким образом, похоже, что это и есть наиболее логичное объяснение тому, почему печатные платы имеют зеленый цвет, хотя весьма вероятно, что вы сочтете такую гипотезу довольно глупой. **РЛ**

# Инерциальные приборы и МЭМС микросхемы компании Analog Devices для систем автоматики, навигации и автомобильной электроники



## Часть 1

Юрий Петропавловский

Одними из первых продуктов компании Analog Devices (ADI), нашедшими широкое применение в автомобильной электронике, были микроэлектромеханические датчики ускорения (МЭМС акселерометры). Работы в этой области проводились в подразделении MEMS Division of Analog Devices в городе Уилмингтоне (штат Массачусетс) в середине 80-х годов группой инженеров под руководством доктора Ричарда Пэйна (Richard Payne). Первым серийным МЭМС продуктом компания был интегральный акселерометр ADXL50, предназначенный для систем активации подушек безопасности автомобилей; его массовое производство началось в 1991 году. ADXL50 стал первым коммерческим акселерометром, получившим признание автопроизводителей, так как его применение позволило значительно уменьшить себестоимость систем активации подушек безопасности и повысить надежность их срабатывания.

В ADXL50, как и в большинстве других МЭМС продуктов компании, используются емкостные поверхностные датчики ускорения. Такие датчики детектируют ускорение в плоскости, параллельной поверхности кристаллов микросхем, на которых они установлены. На Рисунке 1а показана микросхема

ADXL50 без крышки. В центре кристалла расположен емкостной поверхностный датчик ускорения, показанный крупным планом на Рисунке 1б. Принцип действия емкостных датчиков ускорения, иллюстрируемый приведенной на Рисунке 2 упрощенной схемой устройства акселерометра ADXL50, основан на изменении емкости микроконденсатора, одна из обкладок которого подвижна. Подвижные обкладки конденсаторной системы упруго подвешены на фиксаторах, и при наличии ускорения вдоль оси чувствительности (показана стрелками) емкости элементарных ячеек изменяются. Величина и знак изменений регистрируются электронной схемой,

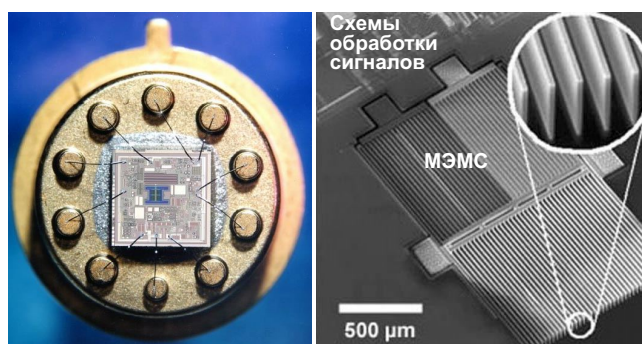
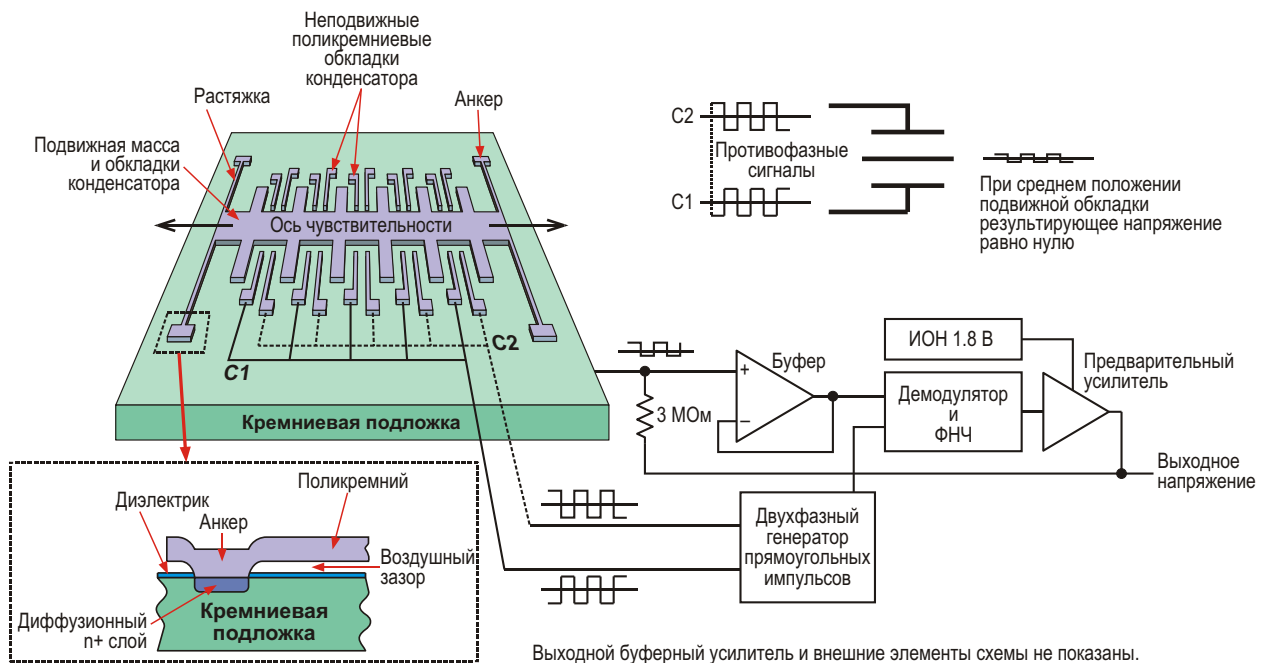
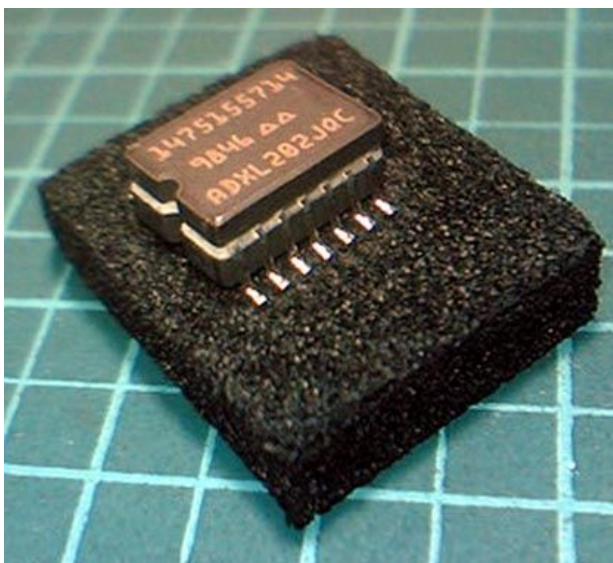


Рисунок 1. Устройство микросхемы ADXL50.



**Рисунок 2.** Принцип действия акселерометра ADXL50.

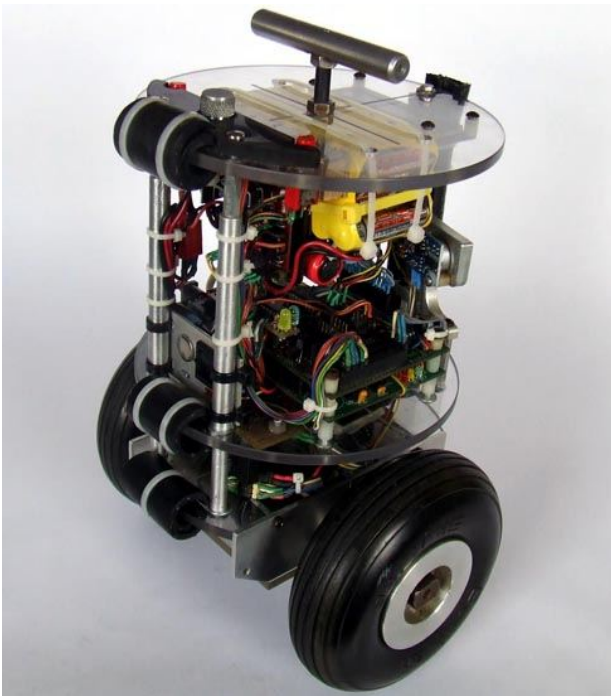
интегрированной на одном кристалле с датчиком. Выходное напряжение микросхемы пропорционально ускорению, а его знак зависит от направления ускорения. В неподвижном горизонтальном состоянии или движении с постоянной скоростью выходное напряжение составляет 1.8 В, при полном ускорении  $\pm 50 g$  выходное напряжение достигает значений  $1.8 \pm 0.95$  В. Подробно устройство и функционирование различных акселерометров компании рассмотрены в статье автора [1].



**Рисунок 3.** Микросхема ADXL202.

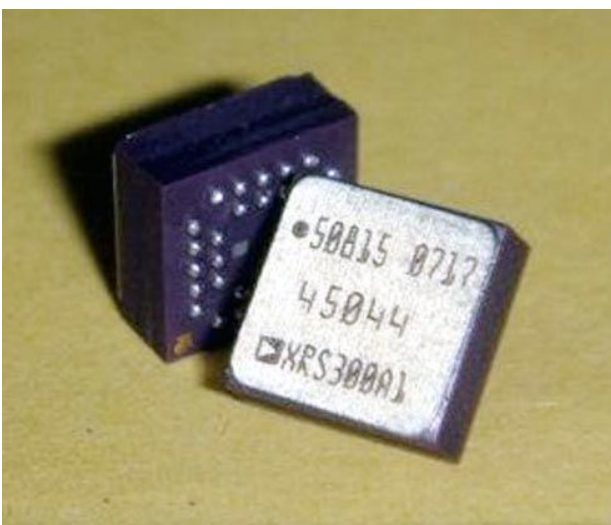
В 1998 году компания выпустила первый в мире коммерческий двухосевой акселерометр ADXL202 (Рисунок 3) с возможностью непосредственного подключения к микроконтроллерам общего назначения. Эта микросхема отличается высокой чувствительностью (до  $\pm 2 g$ ), что позволяет использовать ее в качестве высокоточного инклинометра для измерения малых углов наклона различных платформ, в том числе и автомобилей. В микросхему интегрированы двухосевой емкостной датчик малых ускорений поверхностного типа и аналоговые схемы усиления и формирования выходных сигналов с малым потреблением (0.6 мА). Измерение углов наклона с помощью емкостных датчиков поверхностного типа легко осуществимо, так как любой их поворот вокруг оси чувствительности относительно горизонта приводит к смещению подвижной массы датчиков под действием силы тяжести.

Акселерометр ADXL202 может быть использован в качестве многофункционального датчика для систем автомобильной сигнализации, реагирующей на наклон, вибрацию и удары. Возможна реализация системы сигнализации на простых микроконтроллерах, например PIC16F84A компании Microchip [2].



**Рисунок 4.** Балансирующий робот.

Двухосевые акселерометры находят широкое применение в системах стабилизации платформ. Одно из интересных решений реализовано в «балансирующем роботе» (nBot Balancing Robot), показанном на Рисунке 4. От падения эту двухколесную конструкцию в виде «перевернутого маятника» удерживает электропривод колес, управляемый системой балансировки. Для выполнения условий баланса системе необходимы четыре параметра: угол наклона, первая производная скорости его изменения, положение платформы и первая производная ее скорос-



**Рисунок 5.** Микросхема ADXR300.

ти. Эти четыре параметра суммируются и подаются на систему управления двигателями. Интересные видеоролики, иллюстрирующие функционирование различных nBot роботов, размещены на сайте [3].

Первые в мире интегральные МЭМС гироскопы ADXR150/300 компания представила в 2002 году; внешний вид ADXR300 показан на Рисунке 5. В микросхемы интегрированы одноосевые вибрационные датчики угловой скорости с чувствительностью  $\pm 150/300$  °/с. Датчики могут регистрировать углы поворота микросхемы вокруг собственной оси, проходящей через перпендикуляр к ее основанию. Подробно устройство и работа микросхем также описаны в статье автора [1].



**Рисунок 6.** Самобалансирующий скейтборд.

Акселерометр ADXL202 и гироскоп ADXR300 нашли оригинальное применение в самобалансирующихся скейтбордах, внешний вид одного из которых показан на Рисунке 6. Для управления движением этого транспортного средства достаточно только перемещения массы тела с одной ноги на другую, при этом обеспечивается управление скоростью и радиусом поворотов. Электроника аппарата выполнена на основе микроконтроллера PIC16F87A и рассматриваемых МЭМС микросхем ADI, питание электродвигателя осуществляется от двух аккумуляторов напряжением 28 В, используемых в электроинструментах. Демонстрационные видеоролики с катанием на этом аппарате размещены на сайте [4].

В 2005 году компания выпустила первый трехосевой акселерометр ADXL330, отличающийся низким токопотреблением (180 мкА) и напряжением питания от 1.8 В до 3.6 В. Микросхема выполнена в миниатюрном кор-

пусе размерами 4 4 1.45 мм и не требует внешних компонентов кроме выходных конденсаторов фильтра, от значения которых зависят полосы пропускания каналов X, Y (0.5...1600 Гц) и Z (0.5...550 Гц). Основными сферами применения микросхемы, ориентированной на применение в недорогих приложениях для измерения параметров движения объектов и углов их наклона по трем осям, являются мобильные устройства, игровые системы, устройства защиты жестких дисков, стабилизаторы изображения видеокамер, оборудование и приборы для спорта и здравоохранения. Ряд компаний выпускает небольшие печатные платы с установленными на них микросхемами ADXL330 и операционными усилителями для формирования выходных сигналов с размахами, зада-

ваемыми пользователями. Вариант использования акселерометра совместно с микроконтроллером AVR компании Atmel приведен в статье [5]. **РЛ**

## Литература

1. Юрий Петропавловский, «Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices», Современная электроника, 2015, №6, 7.
2. [http://nnp.ucsd.edu/phy120b/application\\_notes/an715\\_Tilt\\_Sensor.pdf](http://nnp.ucsd.edu/phy120b/application_notes/an715_Tilt_Sensor.pdf)
3. <http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robot/nbot/>
4. <http://hackedgadgets.com/2007/03/12/5-cool-self-balancing-skateboards/comment-page-1/>
5. <http://www.evilmadscientist.com/2007/using-an-adxl330-accelerometer-with-an-avr-microcontroller/>
6. [http://www.uav-g.org/Presentations/UAVg\\_Eling.pdf](http://www.uav-g.org/Presentations/UAVg_Eling.pdf)

*Окончание в следующем номере*



# Временные татуировки, которые чувствуют через кожу

## Часть 2

Окончание. Начало в номере 10-2015

Tekla S. Perry

IEEE Spectrum

Прямо сейчас Роджерс со своими студентами занимается исследованиями растягиваемых датчиков, которые измеряют температуру тела, следят за дозой ультрафиолетового света, а также проверяют пульс и уровень кислорода в крови. Они также разрабатывают датчики, способные отслеживать изменения кровяного давления, анализировать пототделение и получать сигналы от мозга или сердца для использования в электроэнцефалограммах и электрокардиограммах. Все эти датчики, по словам Роджерса, предназначены для выполнения измерений с точностью, достаточной для их применения в медицинских учреждениях. Этот стандарт намного строже, чем тот, в соответствии с которым производятся обычные потребительские носимые устройства.

Необходимость соблюдения этого стандарта в тонком и эластичном устройстве вынудило Роджерса и его команду переосмыслить то, как выполняются медицинские измерения. Представим, как измеряется кровяное давление. Для этого, как правило, на руку пациента надевают манжету и раздувают ее, пока она не перекроет поток крови. Затем манжета постепенно сдувается, пока кровь снова не начнет течь по сосудам в руке, что позволяет измерить систолическое артериальное давление, то есть показатель давления при сокращении сердца. Манжета продолжает сдуваться до тех пор, пока врач не сможет больше слышать звук протекающей крови. Это дает диастолическое артериальное давление – давление между ударами, когда сердечная мышца расслаблена.

Препятствовать кровообращению крошечный Биоштамп не может. Однако он может измерять пульс в двух точках, находящихся всего в сантиметре друг от друга. На основе этой информации смартфон может вычислить физиологический показатель, называемый скоростью распространения пульсовой волны, и зависящий от изменений артериального давления. Так, исследователи Тони Бэнкс (Tony Banks), Сенг Мин Ли (SeungMin Lee) и Мэтт Фарр (Matt Pharr) из группы Роджерса разрабатывают два типа Биоштампов для измерения пульса. Один из них использует свет; попеременно включая красный и инфракрасный светодиоды, с помощью фотоприемника он регистрирует свет, отраженный от кожи под Биоштампом. Поскольку венозная кровь больше поглощает красный свет, а артериальная – инфракрасный, флуктуации этих уровней поглощения создают сигнал, отображающий характер сердцебиения. В своей основе это тот же способ, который используется в новейших фитнес-браслетах для определения пульса, хотя Биоштамп может получать более стабильный сигнал, благодаря тому, что кожа под ним не смещается. Другой тип считывателя пульса, находящегося сейчас в разработке, использует пьезоэлектрические датчики деформации для мониторинга натяжения и ослабления пластыря, вызываемого кровью, бегущей под ним по сосудам. В данном случае большее натяжение говорит о более высоком давлении.

В любом случае результаты эти измерений, преобразованные в скорость распро-

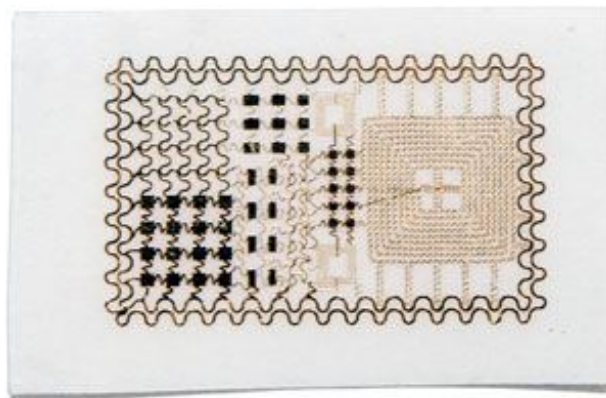
транения пульсовой волны, дают владельцу информацию об изменении кровяного давления, а не его абсолютной величине. Однако для пациентов, за давлением которых необходимо внимательно следить, и простое отслеживание изменений является жизненно важным. Вместо ежедневного посещения медсестры для проверки давления или домашнего использования громоздкого оборудования мониторинга, пациент может надевать новый Биоштамп каждую неделю или две, калибровать его и просто сканировать штамп с помощью телефона для получения показаний, которые могут быть автоматически отправлены доктору.

Еще одна перспективная версия Биоштампа будет следить за потовыделением. Дэешик Канг (Daeshik Kang) и Ахейон Кох (Aheyon Koh), постдоктора в группе Роджерса, работающие со штатным сотрудником Бэнксом, создали Биоштамп с микрофлюидными каналами, проводящими пот вдоль калиброванного пути. Соприкасаясь с потом, находящийся на этом пути химически чувствительный краситель меняет свой цвет, в то время как другие красители в каналах меняют цвет в соответствии с изменениями уровней глюкозы, молочной кислоты, хлора и натрия. При сканировании с помощью смартфона схема на биоштампе активирует приложение телефона, которое анализирует изменение цвета и предлагает варианты типа «Время для увлажнения» или для страдающей диабетом женщины под наблюдением в течение беременности «Время для посещения врача». Исследователи MC10 в сотрудничестве с группой Роджерса также изучают возможные способы использования этих данных о потовыделении для мониторинга сердечного здоровья.

Эти химически чувствительные Биоштампы, в отличие от полностью электронных носимых устройств мониторинга потовыделения, разрабатываемых сейчас в другом месте, не годятся для многократного использования; в конце тренировки, гонки или стресс-теста, когда вы перестали потеть, очистить канал Биоштампа вы не сможете, и его придется выбросить. Впрочем, они будут настолько дешевыми, что это не будет вас беспокоить.

Роджерс уверен, что Биоштампы станут важнейшими инструментами в больницах. Первые испытания начались в этом году в отделении интенсивной терапии новорож-

денных в больнице Carle Foundation в г. Урбана, штат Иллинойс, где врачи используют Биоштампы для измерения температуры и других жизненно важных показателей младенцев. Доктора наклеивают Биоштампы на руку, ногу, лоб и грудь каждого ребенка, а питает эти устройства антенна NFC, расположенная под каждым инкубатором.



*Этот Биоштамп является испытательным полигоном для различных эластичных устройств; он включает в себя множество транзисторов, диодов, конденсаторов, LC-генераторов, датчиков температуры и деформации, а также светодиод, катушку индуктивности и простую антенну.*

После первых сообщений о Биоштампах Роджерс и MC10 получили запросы не только от врачей и тренеров, но также и от правительственных чиновников и бизнесменов. Многие узнали о его работе, прочитав одну из публикаций в научных журналах, которых за последние годы вышло более сотни.

«Я читал его статью в журнале Science четыре года назад, – говорит Гуив Балуч (Guive Balooch), вице-президент, отвечающий за новые технологии компании L'Oréal, гиганта на рынке средств ухода за волосами и косметики. – Мы вышли на него, поскольку измерение параметров кожи и понимание их изменений во времени может помочь нам разрабатывать и тестировать продукты».

В настоящее время L'Oréal работает с группой разработчиков Биоштампов над датчиком гидратации кожи, контролирующим прохождение тепла через кожу под пластырем. Устройство на пластыре создает крошечный выброс тепла, который детектируется с помощью датчика температуры на том же самом пластыре. L'Oréal надеется, в конечном счете, использовать эту информацию

для проверки эффективности своих продуктов; при длительном использовании людьми их продукция пластырь может отслеживать изменения в гидратации, а также более общие изменения, например, старение кожи. Исследователи компании уже провели одно испытание с участием 20 человек, каждый из которых носил по шесть Биоштампов. Первоначальное исследование просто выявило взаимосвязи между гидратацией, температурой, толщиной кожи и путями прохождения тепла через кожу. Но, как ожидает Бэлуч, в течение 5-10 лет технология позволит делать намного больше. Он говорит: «Я хотел бы видеть красивый пластырь на чьем-либо теле, который дает рекомендации по уходу за кожей». L'Oréal также финансирует исследования Биоштампов, предназначенных для измерения экспозиции ультрафиолетовых лучей, чтобы сигнализировать, когда пришло время для повторного нанесения солнцезащитного крема.

Пронесив неделю с небольшим урезанную версию Биоштампа, я поймал себя на мысли, что мне хочется закатать рукав и показывать его всем. Увидев в лаборатории Роджерса бесчисленные демонстрации потенциальных применений, а также вспоминая исследование L'Oréal, я даже стал испытывать раздражение по отношению к обычному способу ведения дел. Сидя на солнце в жаркий полдень, я как-то подумал, нужно ли опять наносить солнцезащитный крем, и, посмотрев на наклейки на запястье, подумал: «Вы могли бы сказать мне это, вы знаете».

Позже на той же неделе, почувствовав озноб, я отправился искать термометр. И снова я посмотрел на свой Биоштамп и пожалел, что у него нет такого же датчика температуры, который мне демонстрировали в Иллинойсе. И фитнес-браслет Fitbit Flex, который я носил больше года и считал красивым и гладким, теперь казался мне огромным и неудобным.

Другие исследователи изучают возможность использования термочувствительных Биоштампов для измерения умственного напряжения авиадиспетчеров (чем сложнее мыслительная задача, тем холоднее рука) и возможность применения теплогенерирующих Биоштампов для введения лекарств через кожу. В ходе клинических испытаний в медицинской школе Северо-Западного университета Чикаго команды исследователей

протестировали Биоштампы, которые для мониторинга процесса заживления измеряют как температуру, так и поток тепла в тканях. А в больнице Carle Foundation этой весной проходили клинические испытания крепящихся за ухом Биоштампов, которые измеряют электрическую активность мозга для изучения процессов сна. Этот метод будет гораздо менее громоздким, чем использующиеся в настоящее время проводные датчики.

Раумеется, всякое устройство, которое собирает данные о состоянии здоровья, должно гарантировать защиту конфиденциальности пациента, поэтому любые приложения, использующие данные Биоштампов, должны соответствовать требованиям безопасности федерального закона США «О перемещаемости и подотчетности страхования здоровья», а также аналогичных законов других стран. Но, в отличие от прочих устройств сбора данных, в Биоштампах заложен потенциал большей безопасности информации о здоровье. Поскольку Биоштамп невозможно удалить без разрушения, он может являться физическим ключом, используемым для управления доступом к данным как в смартфоне пациента, так и на рабочем месте медсестры.

Ранние испытания различных Биоштампов дали обнадеживающие результаты, но они были очень трудоемкими, поскольку каждый датчик группе Роджерса приходилось проектировать с нуля. Таким образом, у медицинских исследователей имеется много идей связанных с тем, как предлагаемый датчик сможет помочь пациентам, но на его создание могут уйти месяцы, и даже годы. И ограниченный объем памяти штампа, и внешнее питание ограничивают возможные сферы применения.

Для решения этой проблемы Роджерс и MC10 разработали многоразовую версию Биоштампа, сопоставимую по размерам с пластырем Band-Aid, хотя и немного превосходящую его по толщине, которая оснащена различными датчиками, аккумуляторами и памятью. Такой пластырь наклеивается на различные участки тела, и собранные с его помощью сигналы могут анализироваться приложениями на смартфонах или планшетах. Эта многоразовая версия содержит бескорпусные микросхемы для средств коммуникации NFC или Bluetooth Low Energy, набор датчиков, небольшие прямоугольники литий-

ионных аккумуляторов, а также соединяющие все эти компоненты друг с другом змеевидные катушки, которые Роджерс разработал для эластичных схем, применяемых в похожих на татуировки Биоштампах.

Исследователи начали использовать эти пластыри в клинических испытаниях и в качестве платформы для разработки новых приложений, некоторые из которых могут быть приспособлены для работы с компактными кожеподобными Биоштампами. В 2016 году MC10 планирует вывести эти большие Биоштампы многократного применения на рынок в качестве конкурента современным медицинским устройствам наблюдения за состоянием здоровья. Такие приборы будут функционировать до тех пор, пока, будут держать заряд его аккумуляторы. В зависимости от того, как часто вы будете его заряжать, время работы составит, по крайней мере, два года.

Пока кожеподобная носимая электроника находится на пороге коммерциализации, Роджерс переключает свое внимание с того, что может быть зарегистрировано вне тела, на электронику, которую можно носить внутри. Он сотрудничает с исследователями из Пенсильванского университета, работающими над устройством из 400 электродов, способных вживляться в ткань мозга и отслеживать его активность, сигнализируя об эпилептическом припадке. Ученые провели испытания на кошках и в скором времени начнут эксперименты с приматами.

Другие исследователи на донорских сердцах проводят испытания Биоштампов, которые могут быть закреплены непосредственно на поверхности сердца. Такой тип датчика, и, в конечном счете, целая сеть, полностью покрывающая сердце и получающая энергию от его сокращения, даст детальную информацию о нарушениях ритма и сможет обеспечить более точное управление кардиостимуляторами, в настоящее время располагающими данными лишь из одной точки органа.

В последнее время Роджерс начал задумываться над новой проблемой. Некоторые части тела, такие как мозг и сердце, имеют изгибы и впадины, которые требуют не двух-, а трехмерных решений. Он сказал: «Мы хотели бы иметь возможность не только превращать схемы на планарных пластинах в тонкие, мягкие полоски, которые можно обернуть вокруг сложных поверхностей, но и

заставить их самостоятельно собираться в открытые трехмерные форматы с волокнами и массивами взаимосвязанных структур, способных полностью проникать в биологическую систему. Такая возможность приведет нас в совершенно новую область биоинтеграции».

Для реализации этих планов потребуется больше десятилетия. Но в краткосрочной перспективе прогноз Роджерса довольно оптимистичен. Этот полный энтузиазма изобретатель ожидает, что в течение десяти лет почти каждый, проживающий в стране развитого мира, будет носить один или несколько Биоштампов, по крайней мере, какое-то время.

Перенесемся в 2025 год. Если мечты Роджерса и MC10 сбудутся, то в развитой стране ребенок при рождении будет помечен несколькими Биоштампами. Одни, наклеенные на запястье или лодыжку, будут служить в качестве высокотехнологичного медицинского браслета, и потерять его будет гораздо сложнее, чем сегодняшние пластиковые манжеты. Другие, на туловище или на руке, позволят медсестрам, не беспокоя спящего младенца, быстро измерить температуру, насыщенность крови кислородом и пульс. Мать ребенка также будет носить несколько Биоштампов, что в процессе ее восстановления позволит медсестрам контролировать жизненно важные показатели. Больше не потребуется использовать автоматически раздуваемые манжеты для проверки кровяного давления, которые могут разбудить уставшую маму.

В той же больнице пациенты с кардиологическими заболеваниями будут носить Биоштампы, регистрирующие важнейшие параметры, а еще два, закрепленные на лодыжках, будут проверять наличие отеков, чтобы выявить ранние признаки сердечной недостаточности. После выписки таких пациентов Биоштампы будут следить за их состоянием уже дома. Даже медсестры будут носить Биоштампы, чтобы открывать двери и входить в свои учетные записи на компьютерах; эти устройства обеспечат больший уровень безопасности, чем сканирование карт или передача кодов.

Люди, бегущие трусцой вокруг больницы, будут носить Биоштампы, чтобы отслеживать свои достижения в фитнесе. Хотя обычный бегун, вероятно, не страдает серьезными заболеваниями, фитнес-версии Биоштампов

замечают ранние признаки кардиологических проблем или двигательных расстройств, таких как болезнь Паркинсона, и посоветуют владельцу показаться врачу.

Тем временем пассажиры, выстраивающиеся в очередь для посадки на борт круизного судна в близлежащей гавани, в дополнение к Биоштампу, который носят обычно, приклеят еще один. Отмеченный логотипом корабля, он будет служить идентификатором, который разрешит им подняться на судно. Он также откроет двери их каюты, позволит поставить напитки в баре, и даже в течение недели будет контролировать возде-

йствию солнца на кожу, чтобы своевременно предупредить о необходимости нанесения солнцезащитного крема.

Сейчас сложно представить себе столь повсеместное распространение Биоштампов, учитывая, что почти никто их еще даже не видел. Но технологии иногда удивляют нас. iPhone и Android лет 10 назад были еще только в проекте, а теперь они обеспечивают нас постоянным доступом к информации о внешнем мире. Лет десять лет спустя, если Роджерс сумеет войти в мир Биоштампов, мы будем знать столько же и о наших внутренних мирах. **РЛ**

# Простое устройство на одной микросхеме нагревает и охлаждает термоэлектрический охладитель лазерного диода

Chris Glaser, Texas Instruments

Electronic Design

Для термоэлектрического охладителя, стабилизирующего температуру лазерного диода, требуется источник питания специальной конфигурации, реализовать который можно с помощью очень простой схемы.

Лазерный диод является самым важным элементом оптических сетей, поскольку именно он отвечает за преобразование данных в световые импульсы. Для стабилизации светового выхода диод требует тщательного управления, а длина волны его излучения зависит, в первую очередь, от температуры. Для выполнения этой стабилизации обычно используются термоэлектрические охладители (Thermoelectric cooler – ТЕС). В связи с большим разнообразием ТЕС, различающихся потребляемой мощностью, источник питания должен разрабатываться под каждый конкретный тип.

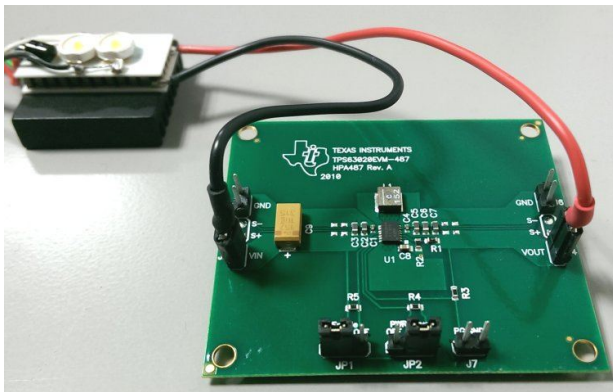
ТЕС переносят тепловую энергию с одной поверхности на другую, из-за чего температура первой поверхности повышается или понижается. Сам ТЕС не потребляет энергию; другими словами, энергия не теряется<sup>\*)</sup>, но энергия нужна для работы ТЕС. Моделью ТЕС может служить обычный резистор, способный выдержать определенное падение напряжения на нем и пропустить необходимый ток. Этой мощностью определяется максималь-

ная разность температур между двумя поверхностями ТЕС. Чем больше приложенная мощность, тем выше разница температур.

Важным свойством термоэлектрических охладителей является их способность как нагревать, так и охлаждать. В связи с тем, что ТЕС постоянно соединен с лазером или иным устройством, нуждающимся в стабилизации температуры, управлять температурой лазера может только одна поверхность. Другая поверхность должна быть установлена на теплоотвод, чтобы отводить энергию, уходящую с первой стороны. Для правильной работы системы с обеими поверхностями необходимо обеспечить хороший тепловой контакт,

После установки в систему поменять взаимное расположение поверхностей уже невозможно, и ТЕС должен осуществлять охлаждение и нагрев, исходя из заданной ориентации. Эта дополнительная функция реализуется изменением направления тока, протекающего через ТЕС. Ток, текущий в определенном направлении, охлаждает одну поверхность и нагревает другую, тогда как при смене его направления первая поверхность будет нагреваться, а вторая охлаждаться. Это расширяет диапазон регулирования температуры по сравнению со схемой, в которой ток течет лишь в одном направлении.

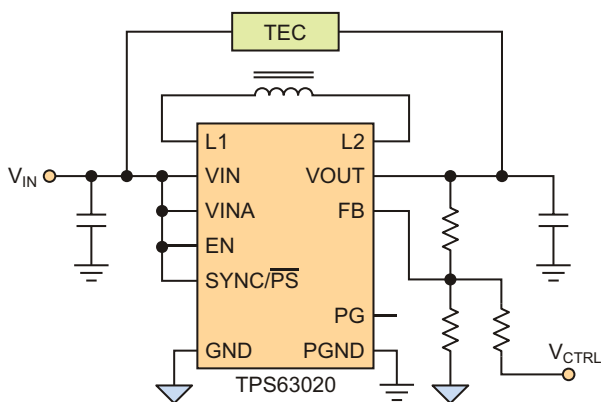
<sup>\*)</sup> Это утверждение, справедливое лишь приблизительно, и лишь в определенных условиях, редакция оставляет на совести автора.



**Рисунок 1.** Этот образец простой схемы (базовый проект PMP9759 компании Texas Instruments) формирует двунаправленный ток управления ТЕС.

В связи с тем, что для работы ТЕС требуется двунаправленный ток, источник его питания также должен поддерживать два режима. Но большинство источников питания способно отдавать только вытекающий ток. Это вынуждает разрабатывать специальную схему, коммутирующую полярность подключения выводов источника питания к контактам ТЕС, когда охлаждение необходимо заменить нагревом, что существенно усложняет конструкцию устройства.

Альтернативным решением является источник питания, выход которого без коммутации подключения ТЕС мог бы как и отдавать, так и принимать ток. Однако микросхем, рассчитанных на использование в таком режиме, выпускается совсем немного. Кроме того, источник должен надежно работать вблизи нулевого значения тока – обычной рабочей точки устройства.

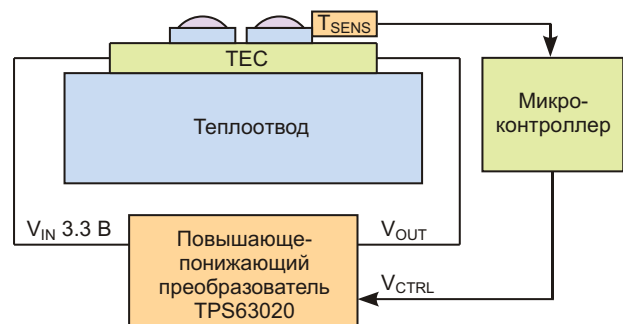


**Рисунок 2.** Эта схема формирует двунаправленный ток через ТЕС с помощью единственного преобразователя и нескольких внешних компонентов.

Схема показанная на Рисунке 1, способна служить для маломощного ТЕС источником втекающего и вытекающего тока. Например, для того, чтобы генерировать ток требуемого направления, такой повышающе-понижающий преобразователь как TPS63020 может понижать или повышать напряжение питания. Топологией повышающе-понижающего преобразователя обеспечивается широкий диапазон выходных напряжений, в данном случае – от 1.2 В до 5.5 В.

Эта схема, объединившая в себе все силовые MOSFET и нуждающаяся лишь в минимальном количестве внешних компонентов, более предпочтительна для управления маломощными ТЕС, когда первостепенное значение приобретают размеры устройства, как, например, в случае миниатюрных модулей оптической связи. Повышающе-понижающий преобразователь питается от общей шины 3.3 В, имеющейся в модулях волоконно-оптических сетей. Подключение ТЕС к источнику питания (Рисунок 2) позволяет регулировать разность напряжений между поверхностями ТЕС от +2.1 В до –2.2 В. Кроме того, в такой конфигурации легко поддерживать рабочую точку в области нулевых токов.

Ориентация ТЕС имеет решающее значение с точки зрения режима его использования – как нагревателя, или как охладителя. Современная электроника часто сама является источником тепла, и нагреть ее еще больше не представляет сложности. Однако охладить ТЕС настолько, чтобы получить требуемую длину волны излучения лазера, обычно намного труднее. Поэтому лучше подключать ТЕС таким образом, чтобы охлаждение происходило тогда, когда ток вытекает из повы-



**Рисунок 3.** В законченной схеме с замкнутой петлей регулирования микроконтроллер считывает показания датчика температуры и формирует выходной сигнал управления преобразователем для установки требуемой температуры.

шающе-понижающего преобразователя. Это связано с тем, что вытекающий ток, который могут отдать многие преобразователи, и TPS63020 в том числе, больше втекающего. По этой же причине для нагрева ТЕС должен использоваться втекающий ток.

В законченной системе (Рисунок 3) микроконтроллер следит за температурой, измеряемой датчиком, установленным на ТЕС.

Сопоставляя реальную и требуемую температуры ТЕС, микроконтроллер управляющим сигналом на выводе VCTRL перемещает рабочую точку преобразователя, заставляя его отдавать или принимать больший или меньший ток. **PL**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments TPS63020](#)



# Siri услышит вас даже на коктейльной вечеринке

Ken Kingery

Duke University

*Разработанный в Дюкском университете новый датчик поможет компьютерам разделять накладывающиеся звуки*

**В**озможно, что благодаря демонстрации новой технологии, люди диктующие Siri<sup>1)</sup> команды, в скором времени перестанут выглядеть так, словно собираются съесть свои смартфоны, и проблема «Коктейльной вечеринки<sup>2)</sup>» будет решена.

В многолюдном помещении, где голоса приходят со всех направлений, слуховая система человека невероятно хорошо справляется с выделением единственного голоса, отфильтровывая все остальные как бессодержательный фон.

Компьютеры так не умеют.

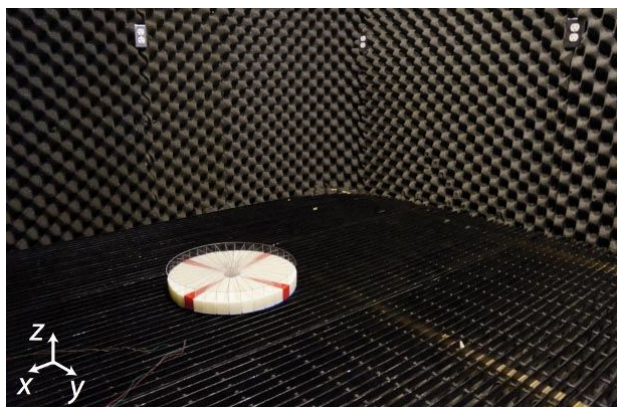
Однако новый подход инженеров Дюкского университета вскоре может радикально улучшить характеристики акустического

оборудования. В их датчике используются метаматериалы, представляющие собой комбинацию обычных материалов с повторяющейся структурой, придающей им необычные свойства, и стохастические методы обработки информации, позволяющие определить направление прихода звука и выделить его из окружающих фоновых шумов.

После миниатюризации устройство сможет найти применение в управляемой голосом электронике, медицинских приборах, использующих акустические волны, таких, например, как устройства ультразвуковой диагностики, а также в слуховых аппаратах и кохлеарных имплантатах.

Доклад о результатах исследований был опубликован в официальном органе Национальной академии наук США Proceedings of the National Academy of Sciences в августе 2015 г.

«Мы изобрели чувствительную систему, способную эффективно, надежно и с небольшими затратами решить интересную проблему, с которой ежедневно сталкивается современная технология, – сказал Абель Се (Abel Xie), аспирант электротехники и вычислительной техники Дюкского университета и ведущий автор исследования. – Мы рассчитываем, что это сможет улучшить характеристики устройств, активируемых голосом, таких как смартфоны и игровые консоли, и одновременно упростить конструкцию системы».

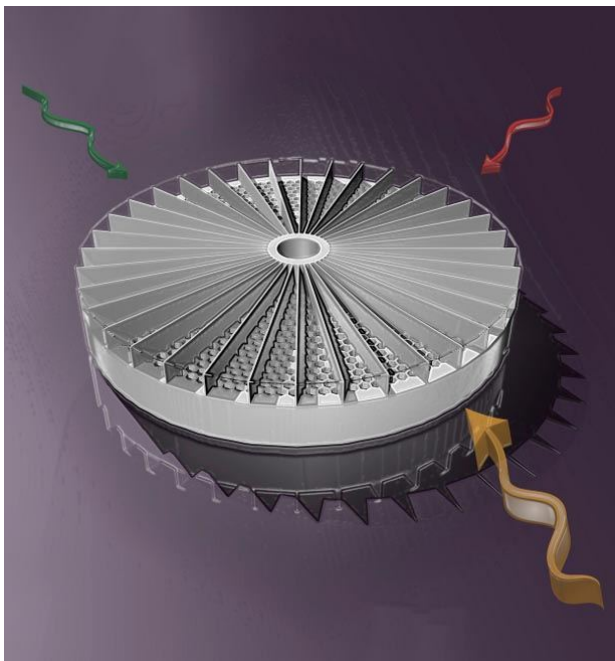


*Прототип датчика испытывается в звукопоглощающей комнате, чтобы исключить эхо и нежелательные фоновые шумы.*

<sup>1)</sup> Speech Interpretation and Recognition Interface – разработанный для iOS программный интерфейс, обрабатывающий речь при голосовом вводе.

<sup>2)</sup> Феномен, позволяющий сосредоточить слуховое внимание на одном конкретном раздражителе, отфильтровывая все остальные.

Устройство, доказывающее правильность концепции, немного напоминает толстые пластиковые пчелиные соты, подобно тортю разделенные на множество ломтиков. В то время как сверху все отверстия сот выглядят одинаково, их глубина меняется от одного отверстия к другому. Это придает каждому ломтику индивидуальный характер.



*Этот опытный образец датчика может разделять звуки, приходящие одновременно с разных направлений, основываясь на уникальных искажениях, вносимых тем кусочком «торта», через который прошел звук.*

«Полости ведут себя как бутылки с содовой, когда вы дуете в их горлышки, – сказал Стив Каммер (Steve Cummer), профессор электро- и вычислительной техники Дюкского университета. – Количество содовой, оставшейся в бутылке, или, в нашем случае, глубина полостей в незначительной, но обнаружи-

ваемой степени влияет на тон производимого ими звука».

Когда звуковая волна достигает устройства, она слегка искажается этими полостями. Искажение имеет специфическую сигнатуру, зависящую от того, через какой ломтик торта она прошла. Воспринятый микрофоном на противоположной стороне торта звук передается в компьютер, который может отделить фоновые шумы, используя уникальность искажений, вносимых каждым элементом.

Свое изобретение исследователи проверили множеством экспериментов, одновременно посылая три одинаковых звука с трех различных направлений. Устройство смогло различать звуки с достоверностью 96.7%.

Несмотря на то, что размеры прототипа составляют 150 мм, ученые уверены, что сумеют воспроизвести его в меньших размерах и встроить в любой предмет нашего обихода. А поскольку датчик изготовлен из пластика и не имеет подвижных частей, он будет очень дешев и надежен.

«Эта концепция может найти применение и за пределами мира потребительской электроники, – сказал Се. – Я думаю, что она может быть внедрена в любое медицинское устройство визуализации, где используются звуковые волны, чтобы не только улучшить существующие датчики, но и создать принципиально новые».

«Владение дополнительной информацией дает возможность повысить качество звука и расширить функциональность таких устройств, как слуховые аппараты и кохлеарные имплантаты. Одной из очевидных задач, требующей решения, является сокращение физических размеров системы. Это очень сложно, но не невозможно, и мы работаем над этим». **РЛ**

## Разбираем Oculus Rift

EEWeb Pulse

Эти очки виртуальной реальности произвели фурор в игровой индустрии. Невероятный ажиотаж вокруг Oculus Rift начался еще в 2012 году, когда прототип гарнитуры дебютировал на Kickstarter. В 2014 году компания выпустила обновленную платформу DK2, и прежде чем очки стали доступны в широкой продаже, их получили разработчики игр и приложений виртуальной реальности. Oculus Rift имеют беспрецедентно низкую задержку обновления экранов, предоставляя самую иммерсивную на сегодня возможность погружения в мир виртуальной реальности. Так что же принесло Rift такой успех? Давайте заглянем внутрь гаджета, чтобы узнать, что делает работу этой гарнитуры виртуальной реальности столь эффективной.



Сначала вам придется отсоединить кабели USB и HDMI, доставляющие в гаджет питание и видеосигнал.

Внутри гарнитуры нужно вывернуть объективы, после чего вам придется отвернуть четыре винта, соединяющих части гаджета друг с другом. Еще четыре винта находятся под разъемами, которые можно извлечь.

Разъедините пластиковый корпус, чтобы открыть электронику, и отсоедините гибкую плату, соединяющую две части. Вы увидите гибкую схему, покрывающую чуть ли не всю внутреннюю поверхность корпуса. Эта схема управляет 40 инфракрасными светодиодами, используемыми камерой трекера.



Плата логики удерживается на месте тремя винтами, а расходящиеся от нее плоские шлейфы соединяют ее с дисплеем. Сигнал HDMI проходит через интерфейсную микросхему Toshiba, а затем попадает в дисплей. Сорока инфракрасными светодиодами управляют пять драйверов постоянного втекающего тока от STMicroelectronics. Послед-



нее, что мы видим на плате логики – микроконтроллер STM32L100 ARM Cortex-M3 и хаб USB 2.0 компании Cypress. На обратной стороне ничего, кроме логотипа Oculus, обнаружить нельзя.

Выкручивание еще нескольких саморезов освобождает дисплей от корпуса и позволяет увидеть логотип Samsung и сенсорный контроллер компании Synaptics. После отклеивания резиновых накладок мы

обнаруживаем полный экран от Samsung Galaxy Note 3 – емкостной сенсорный экран на основе HD super AMOLED с диагональю 5.7 дюйма.

Наконец, чтобы попасть внутрь трекера, снимите подставку, подденьте переднюю панель, извлеките фильтр ИК объектива и выверните несколько винтов. Внутри вы увидите формирователь изображения, оптику и плату светодиодов. **РЛ**



*Плата логики*



*Плата оптики*



*Емкостной сенсорный экран*

# Для «умных» микроконтроллеров нет пути назад, считает Microchip

Richard Wilson

Electronics Weekly

По мнению Microchip микроконтроллеры превращаются в системы-на-кристалле, и пути возврата к обычным распространенным контроллерным устройствам уже нет.

Даже бюджетные 8-битные микроконтроллеры в настоящее время интегрируют в себе широкий спектр периферийных схем – от таймеров до устройств шифрования, работающих независимо от ядра процессора. Это не только увеличивает производительность устройств, но и расширяет их возможности и области применения.

«Такой вещи, как традиционный микроконтроллер, более не существует», – заявил в интервью сайту Electronics Weekly Лусио Ди



Лусио Ди Джасио.

Джасио (Lucio Di Jasio) – менеджер по развитию бизнеса Microchip в Европе.

«10 лет назад микроконтроллер не выполнял ни одной из тех функций, которые сегодня имеет разработчик. Возврата от этой точки нет», – считает Ди Джасио.

Микроконтроллеры привлекательны тем, что их легко встраивать в конечный продукт. По мере возрастания функциональной сложности разработчикам требуется осваивать новое программное обеспечение и инструменты разработки.

«Таким образом, теперь 8-разрядный микроконтроллер превратился в связку периферийных устройств в одной упаковке с процессорным ядром, используемым для их конфигурирования», – сказал Ди Джасио.

«Это отражает то, что произошло с FPGA, но с некоторыми отличиями. FPGA требуют сложных инструментов проектирования и более расточительны в использовании вентилях, – отметил Ди Джасио. – Мы обсуждаем сложившуюся ситуацию с разработчиками традиционных встроенных систем управления. Мы уходим от детализации на уровне вентилях и даем им большие схемные блоки, а затем делаем эти блоки умнее».

Перемещение аппаратных функций из ядра также лежит вне сложившихся традиций разработки встроенных приборов, в рамках которых принято все вопросы решать путем увеличения производительности процессора.

Ди Джасио также заметил: «В некотором смысле такой подход идет вразрез с общепринятым мнением, что “чем больше миллионов операций в секунду, тем лучше”. Увеличение производительности не означает, что ваше управляющее приложение будет быстрее реагировать на внешние события. Ключ в уменьшении количества прерываний».

Идея заключается в том, что, добавив к скромному 8-разрядному микроконтроллеру ряд работающих автономно друг от друга блоков, которые Ди Джасио называет «независимыми от ядра периферийными устройствами», разработчик сможет отказаться от

прерываний, являющихся узким местом, ограничивающим скорость реакции на внешние события.

«Мы продемонстрировали, что используя медленный микроконтроллер с меньшей производительностью можно сконструировать систему с лучшим временем реакции», – заявил Ди Джасио.

«Может быть, это исключает необходимость в некоторых программах, но наша цель не в сокращении их количества. Мы исходим из того, что для этих микроконтроллеров разработчику потребуется больше программных инструментов», – сказал Ди Джасио. **РЛ**

# Микромодуль LTM8040 содержит все компоненты, необходимые для драйвера цепочки светодиодов

David Ng, Linear Technology

Design Note 445

## Введение

Перейдя в ценовую категорию дешевых светодиодных индикаторов, мощные светодиоды вновь оказались в центре внимания мира освещения. Теперь светодиодные источники света используются повсеместно – от автомобильных фар до питаемых от USB гелевых светильников. Автомобильные фары являются примером устройства, вобравшего в себя все преимущества светодиодов – стабильное качество светоотдачи, надежность стали и высокую эффективность, в то время как гелевые светильники представляют собой образцы изделий, в которых работают только светодиоды. Несмотря на все эти очевидные преимущества, необходимость стабилизации напряжения и тока делает схемы драйверов светодиодов более сложными по сравнению с почтенными лампами накаливания, однако с появлением некоторых новых устройств такое положение меняется. Например, в одном корпусе модуля драйвера светодиодов LTM8040 интегрированы все элементы и узлы, позволяющие разработчикам переориентировать свои время и силы с рутинной электроники на критические для рыночного успеха продукта светотехнические аспекты конструкции.

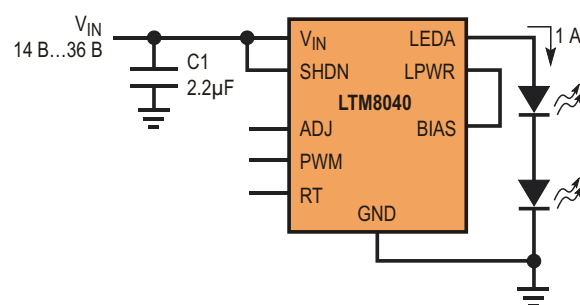
## Высококачественный драйвер светодиодов

LTM8040 – это законченный повышающий импульсный DC/DC преобразователь, способный питать цепочку светодиодов током до

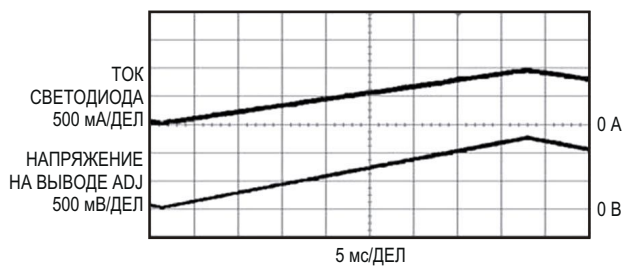
1 А. Диапазон входных напряжений от 4 В до 36 В позволяет использовать модуль с различными первичными источниками, включая двухэлементные батареи литий-ионных аккумуляторов, выпрямленное напряжение переменного тока 12 В и промышленные шины питания 24 В. LTM8040 предоставляет возможность реализовать как аналоговое, так и ШИМ управление яркостью, обеспечивая диапазон диммирования 250:1. Встроенный 14-вольтый ограничитель напряжения защищает модуль от повреждений в случае обрыва цепочки светодиодов. Рабочая частота LTM8040 по умолчанию равна 500 кГц, однако с помощью внешнего резистора, включаемого между выводом RT и землей, ее можно повышать до 2 МГц.

## Простота использования

Высокий уровень интеграции LTM8040 позволяет разработать драйвер светодиодов



**Рисунок 1.** Управлять цепочкой светодиодов с помощью модуля LTM8040 совсем просто – достаточно добавить входной конденсатор и подключить светодиоды.

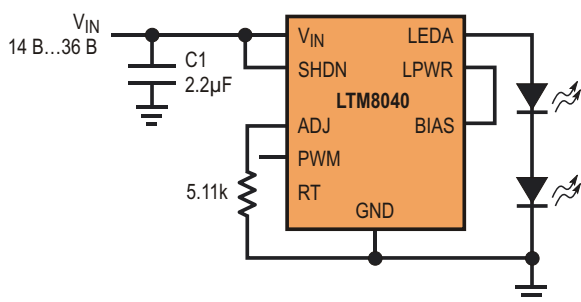


**Рисунок 2.** Меняя напряжение на выводе ADJ от 0 до 1.25 В, можно управлять амплитудой тока светодиодов.

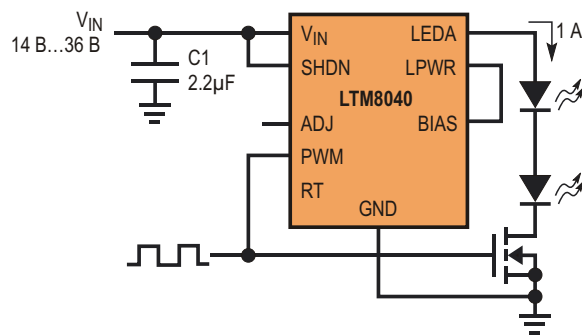
с минимальным количеством внешних компонентов при очень простой топологии печатной платы. Как показано на Рисунке 1, все, что необходимо для питания цепочки светодиодов током 1 А – это собственно модуль LTM8040 и входной развязывающий конденсатор. Несмотря на обилие выполняемых функций, LTM8040 занимает объем всего 15 9 4.32 мм.

## Богатый набор функций

Для точного управления уровнем тока через светодиоды LTM8040 имеет вывод ADJ. При регулировке напряжения на выводе ADJ в полном диапазоне от 0 В до 1.25 В ток светодиодов линейно меняется от 0 В до максимального значения 1 А. На Рисунке 2 показана логотметрическая зависимость выходного тока светодиодов от напряжения ADJ. Вывод ADJ имеет внутренний резистор 5.11 кОм, подтягивающий его к интегрированному опорному источнику 1.25 В, поэтому управлять током светодиодов, как это видно из Рисунка 3, можно с помощью единственного резистора, включенного между выводом ADJ и землей.

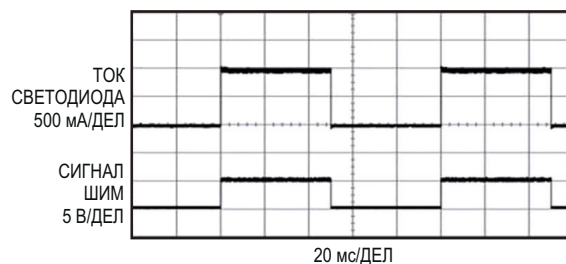


**Рисунок 3.** Управление током светодиодов с помощью одного резистора, включенного между выводом ADJ и землей.



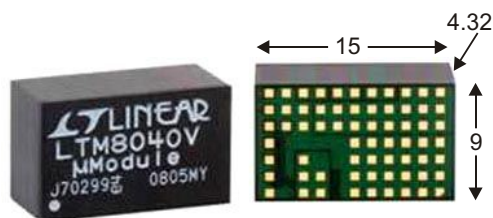
**Рисунок 4.** При подключении внешнего MOSFET LTM8040 может осуществлять ШИМ регулирование яркости свечения светодиодов.

Вывод ШИМ управления позволяет регулировать яркость в широких пределах. С внешним MOSFET, включенным последовательно с цепочкой светодиодов, как это показано на Рисунке 4, LTM8040 может обеспечить глубину регулирования более 250:1. Как



**Рисунок 5.** LTM8040 может с минимальными искажениями выполнять ШИМ регулирование тока светодиодов вплоть до частоты 10 Гц.

видно из Рисунка 5, искажения ШИМ тока светодиодов невелики, даже на столь низких частотах, как 10 Гц. 10 Гц здесь выбраны лишь для иллюстрации возможностей LTM8040 – для практической широтно-импульсной модуляции эта частота слишком низка, далеко выходя за диапазон дискриминации человеческого глаза.



**Рисунок 6.** В корпусе LGA модуля LTM8040 с размерами всего 9 15 4.32 мм реализована законченная система управления цепочкой светодиодов.



## Заключение

Микромодуль драйвера LTM8040 упрощает управление светодиодами. Высокий уровень интеграции и богатый набор выполняемых функций, включая защиту от обрыва светодиода и два режима управления яркос-

тью, значительно сокращают время проектирования и требуемую площадь печатной платы. **РЛ**

## Материалы по теме

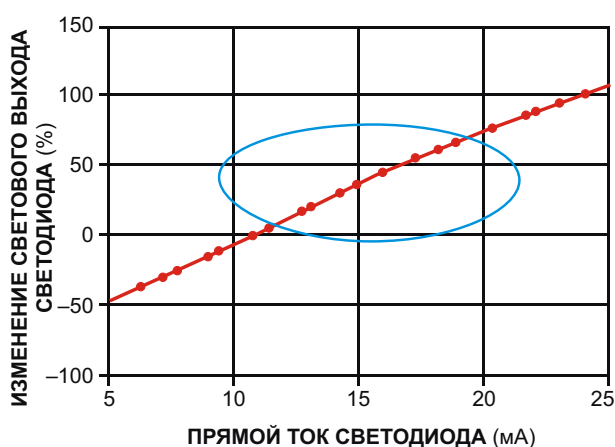
1. [Datasheet Linear Technology LTM8040](#)

# Оптическая обратная связь увеличивает срок службы белых светодиодов

Bjoy Santos

EDN

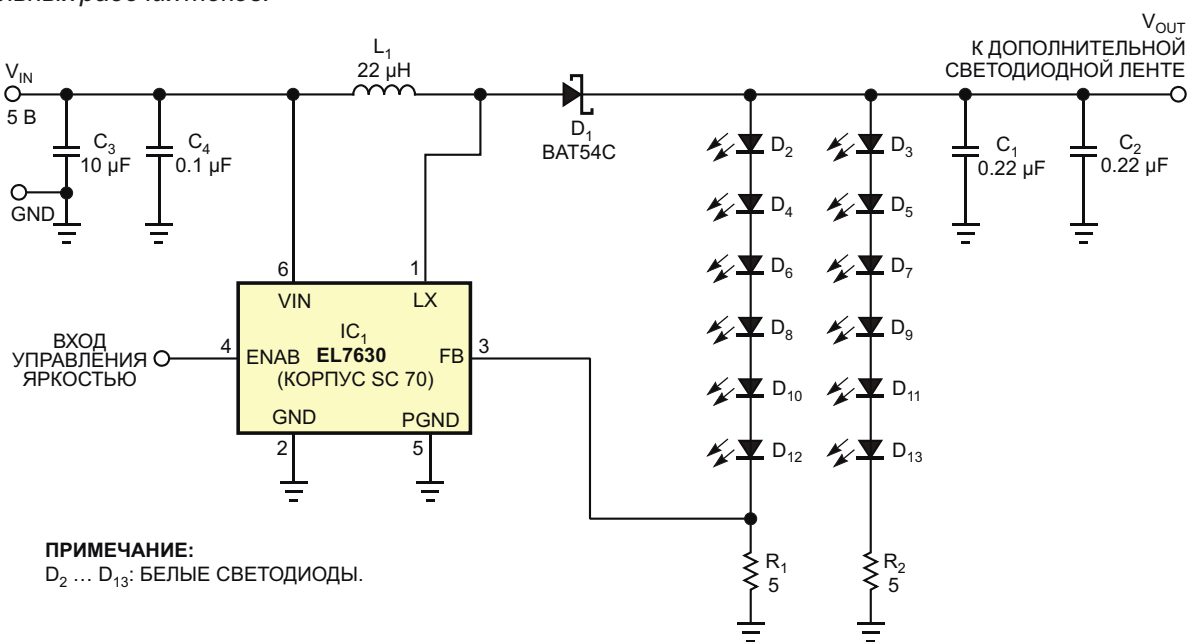
**И**нтенсивность излучения светодиода, независимо от цвета свечения, является функцией его прямого тока и окружающей



**Рисунок 1.** Световой выход светодиодов существенно зависит от прямого тока, даже в выделенной овалом области номинальных рабочих токов.

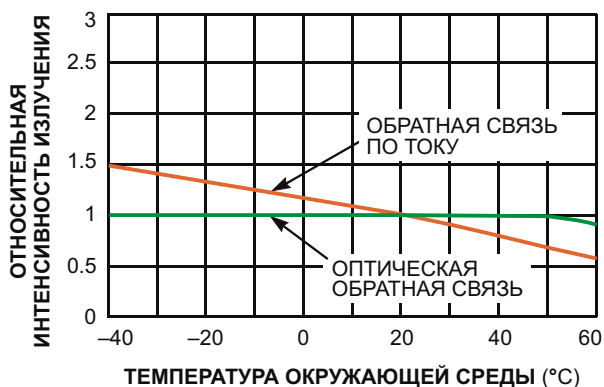
температуры. Как показано на Рисунке 1, изменение светового выхода в диапазоне рабочих токов может достигать 150%. Простейшее решение этой проблемы разработчики видят в стабилизации тока светодиодов. В схемах наиболее распространенных драйверов белых светодиодов используются DC/DC преобразователи повышающей топологии на основе индуктивности, подобные изображенному на Рисунке 2. Контроллер с обратной связью по току обеспечивает постоянство падения напряжения на токочувствительном резисторе  $R_1$ . Таким образом, для поддержания постоянного тока контроллер меняет напряжение на всей цепочке светодиодов, никак не учитывая их реальный световой выход.

Использование источника тока для управления последовательной цепочкой белых



**ПРИМЕЧАНИЕ:**  
 $D_2 \dots D_{13}$ : БЕЛЫЕ СВЕТОДИОДЫ.

**Рисунок 2.** Один из способов стабилизации яркости основан на измерении тока через цепочку светодиодов и управлении напряжением на всей цепочке для поддержания постоянного тока.



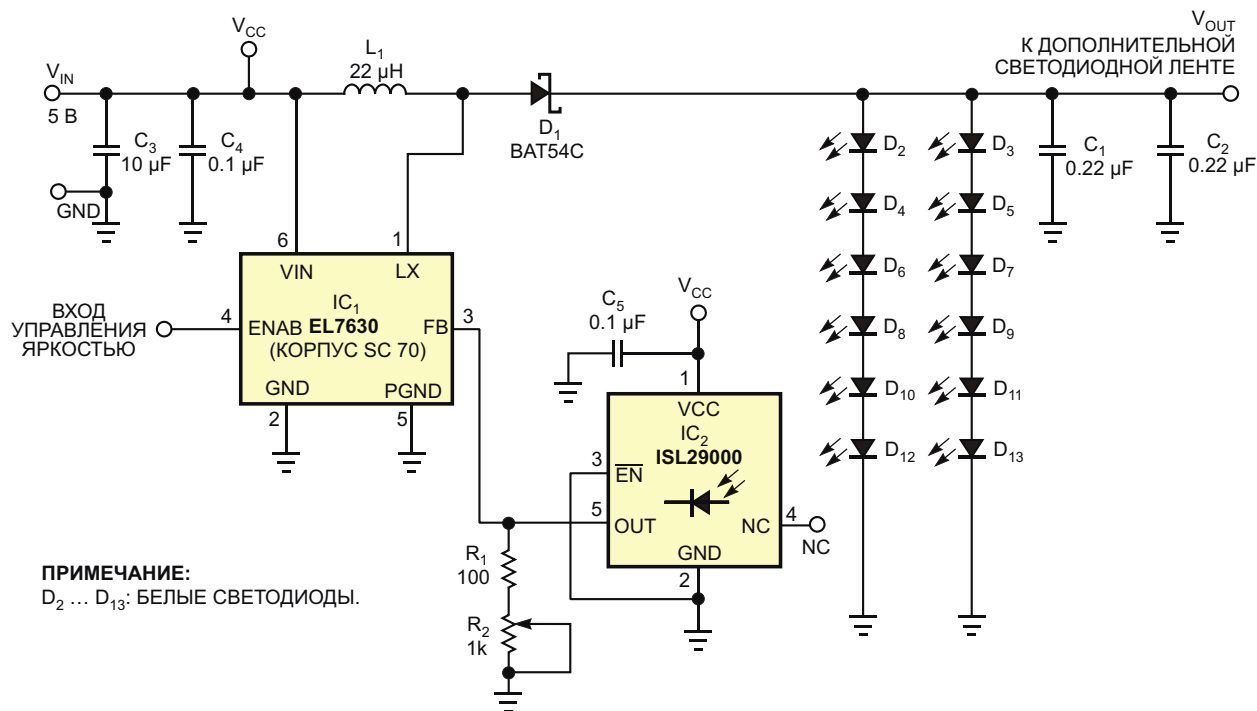
**Рисунок 3.** Даже при постоянном прямом токе интенсивность излучения светодиодов сильно зависит от температуры и в полном диапазоне рабочих температур может изменяться на 100% (верхняя кривая).

светодиодов основано на допущении, что при постоянном токе интенсивность излучения светодиодов также остается постоянной. К сожалению, это не так, и яркость всех светодиодов в течение срока эксплуатации нелинейно уменьшается во времени. Если снижение яркости цветных светодиодов, используемых в качестве индикаторов, менее очевидно, то деградация излучения массива белых светодиодов в осветительном устройстве с течением времени становится очень заметной. Яркость зависит также от рабочей тем-

пературы, влияние которой в широком диапазоне может быть весьма значительным (верхняя кривая на Рисунке 3).

Для компенсации изменений светового выхода, обусловленных старением и флуктуациями температуры, петля управления, помимо значений напряжения или тока, должна получать дополнительную информацию. Добавление в контур регулирования датчика внешней освещенности и оптической обратной связи может обеспечить постоянство излучения белого светодиода, как во времени, так и при изменениях температуры. Оптический датчик может измерять интенсивность светового потока светодиода и формировать сигнал обратной связи, управляющий током для поддержания достаточно стабильного уровня излучения. Уменьшение светового потока из-за старения или изменения температуры компенсируется увеличением прямого тока светодиодов (нижняя кривая на Рисунке 3).

Схема на Рисунке 4 содержит замкнутую петлю оптической обратной связи, основанную на выпускаемой компанией Intersil микросхеме оптического датчика ISL29000 (IC<sub>2</sub>), который отслеживает вариации яркости светодиодов и, преобразуя свет в пропорциональный выходной ток, формирует сигнал



**Рисунок 4.** Микросхема фотодатчика  $IC_2$ , расположенная возле светодиодов для измерения флуктуаций яркости, формирует компенсирующий сигнал обратной связи для импульсного стабилизатора тока  $IC_1$ .

обратной связи для управления повышающим драйвером светодиодов EL7630, также изготавливаемым Intersil. При снижении яркости свечения увеличивается коэффициент заполнения выходного ШИМ сигнала драйвера, увеличивая ток светодиодов до тех пор, пока сигнал обратной связи не вернется к нор-

мальному значению. При уменьшении температуры окружающей среды яркость свечения светодиодов увеличивается, и напряжение обратной связи на выходе микросхемы IC<sub>2</sub> повышается, уменьшая коэффициент заполнения импульсов ШИМ для снижения тока и компенсации влияния температуры. **РЛ**

# Простейший источник отрицательного опорного напряжения для схемы с положительной шиной питания

Chapin Wong, Maxim Integrated

Application Note 5978

**В** некоторых приложениях может потребоваться источник отрицательного опорного напряжения (ИОН), обычно никем не предлагаемый в виде законченного компонента. До сих пор наиболее распространенный способ формирования отрицательного напряжения основывался на использовании операционного усилителя (ОУ), инвертирующего выходной сигнал прецизионного источника положительного напряжения. При таком подходе, как правило, требуются источник положительного опорного напряжения, ОУ и две шины питания.

В основу другого подхода положено использование инвертора напряжения на коммутируемых конденсаторах. Для этого метода понадобятся ИОН, зарядовый насос, ОУ и положительная шина питания. Хотя оба этих решения вполне работоспособны, каждое из них требует нескольких компонентов. Кроме того, большое количество компонентов увеличивает цену изделия, что, конечно же, нежелательно.

В статье представлен простой способ формирования отрицательного опорного напряжения из единственного источника питания, для реализации которого используется ОУ с интегрированным зарядовым насосом. Комбинация ОУ и зарядового насоса имеется, например, в микросхеме MAX9820, изначально разработанной для использования в качестве стерео усилителя для головных телефонов и поддерживающей различные функции, необходимые для аудио приложений. Здесь, однако, он служит другой цели, являясь основой схемы, формирующей отри-

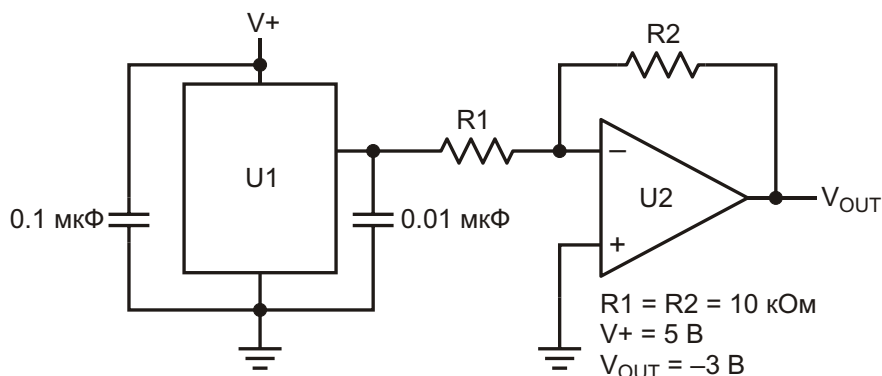
цательное опорное напряжение при минимальном количестве внешних компонентов и единственной шине питания.

## Описание схемы

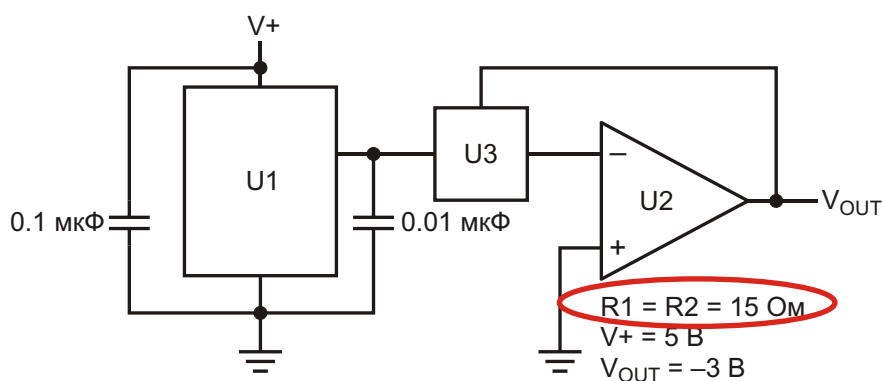
В схеме на Рисунке 1 для формирования отрицательного опорного напряжения используются 3-вольтовый последовательный ИОН (U1) и ОУ с внутренним зарядовым насосом (U2). U1 обеспечивает на выходе точное напряжение 3 В, потребляя ток менее 5 мкА. В этой конфигурации выход U1 подключен к петле обратной связи усилителя U2. Благодаря отрицательной обратной связи на выходе ОУ установится напряжение  $-3$  В. Низкое напряжение смещения выхода U2 в сочетании с прецизионностью U1 обеспечивают высокую точность выходного отрицательного напряжения.

Напряжение питания схемы должно быть достаточно высоким, чтобы иметь определенный запас для ИОН и ОУ. Микросхеме ИОН для формирования напряжения 3 В требуется входное напряжение не менее 3.2 В. Максимально допустимое напряжение питания и наибольшее рабочее напряжение обеих микросхем U1 и U2 равно 6 В и 5.5 В, соответственно. Эти требования определяют диапазон возможных напряжений шины питания – от 3.2 В до 5.5 В.

Возле источника опорного напряжения необходимо установить развязывающие конденсаторы. Рекомендуемые величины емкостей – 0.1 мкФ на входе и 0.01 мкФ на выходе. На схеме не показан элемент развяз-

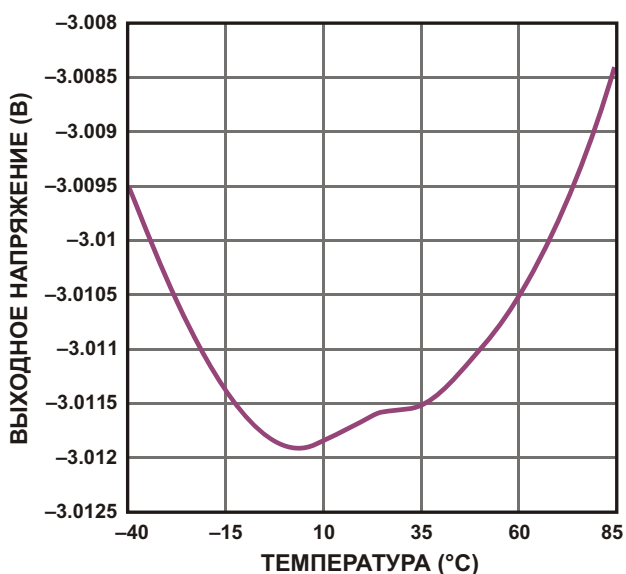


**Рисунок 1.** Эта схема формирует отрицательное опорное напряжение. Выход микросхемы ИОН U1 (MAX6010A) подключен к входу операционного усилителя U2 (MAX9820). Напряжение на выходе U2 имеет отрицательный знак.



**Рисунок 2.** Здесь в схеме Рисунок 1 два резистора заменены микросхемой U3 (MAX5491) прецизионного согласованного делителя.

ки питания усилителя U2, который должен состоять из включенных параллельно конденсаторов 10 мкФ и 0.1 мкФ.

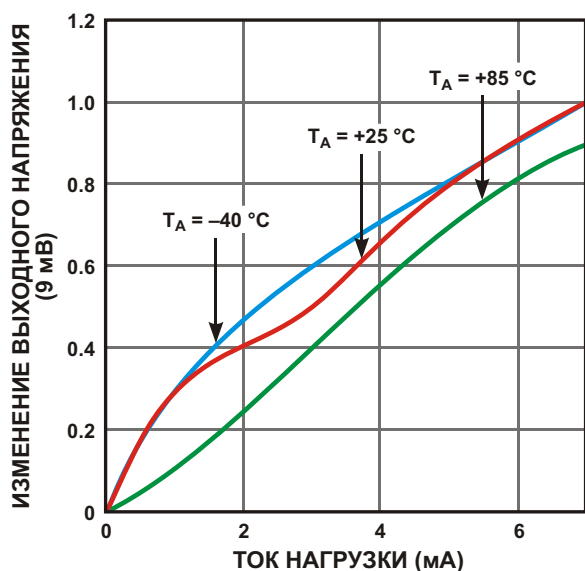


**Рисунок 3.** Зависимость выходного напряжения от температуры для схемы на Рисунке 1.

В качестве R1 и R2 должны использоваться высокоточные согласованные резисторы, обеспечивающие стабильность выходного напряжения во всем диапазоне рабочих температур обоих компонентов (-40 °C ... +85 °C).

Есть более дорогая, но и более точная альтернатива использованию двух согласованных резисторов – включение в цепь обратной связи интегрального прецизионного резисторного делителя (Рисунок 2). Например, рассогласование сопротивлений в микросхеме MAX5491 (U3) составляет 0.035% для группы А, 0.05% для группы В и 0.1% для С в температурном диапазоне, перекрывающем область рабочих температур ИОН и ОУ. Этот прибор будет идеальным дополнением к регулятору напряжения.

На Рисунке 3 представлена зависимость выходного напряжения от температуры для схемы на Рисунке 1. Наибольшее отклонение



**Рисунок 4.** Зависимость выходного напряжения от тока нагрузки для схемы на Рисунке 1.

напряжения в диапазоне  $-40\text{ }^\circ\text{C} \dots +85\text{ }^\circ\text{C}$  составило 3 мВ, что не выходит за пределы максимальных значений, указанных в справочных данных на микросхему U1.

Рисунок 4 демонстрирует зависимость выходного напряжения от тока нагрузки для схемы на Рисунке 1 при  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $+25\text{ }^\circ\text{C}$  и  $+85\text{ }^\circ\text{C}$ . Испытания выполнялись с двумя резисторами в цепи обратной связи, имеющими допуск 1%, при напряжении питания 5 В. **РЛ**

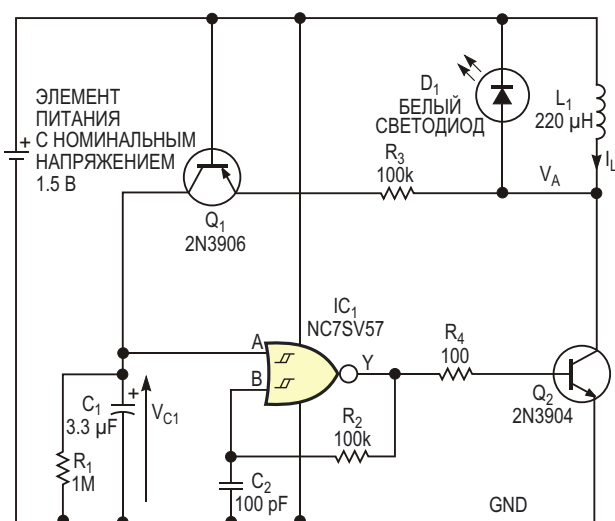
# Мигающий белый светодиод работает от одной щелочной батареи

Anthony Smith

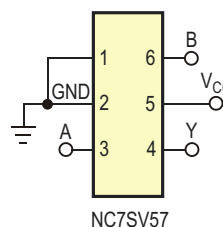
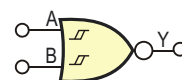
EDN

Предлагается упрощенная схема управления мигающим белым светодиодом, альтернативная опубликованной ранее в [1]. Предназначенная для использования в портативных приборах и устройствах с питанием от одной батареи, эта схема формирует хорошо видимые предупреждающие вспышки, например, индицирующие включение устройства, разряд батареи или сообщающие об ином событии с помощью бросающегося в глаза визуального сигнала. Однако прямое напряжение типичных белых светодиодов лежит в диапазоне от 3 до 5 В. Учитывая, что перед окончанием заряда выходное напряжение одиночного элемента питания уменьшается до 1 В, управление белым светодиодом при столь низком напряжении требует специальных схемных решений. Работа

схемы, показанной на Рисунке 1, основана на способности универсального конфигурируемого двухвходового логического вентиля NC7SV57 компании Fairchild работать при очень низком напряжении. Для NC7SV57 достаточно напряжения 0.9 В, что и является ключевым требованием к приложениям с одиночным элементом питания.



**Рисунок 1.** Несколько недорогих компонентов могут обеспечить питание белого светодиода от одной щелочной батарейки.



**Рисунок 2.** При соединении выводов 1 и 2 с землей NC7SV57 приобретает конфигурацию двухвходового элемента «ИЛИ-НЕ».

Выпускаемая в 6-выводном корпусе SC70, микросхема имеет входы с триггерами Шмитта. Устройство можно сконфигурировать так, чтобы оно выполняло логическую функцию «И», «И-НЕ», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ» или «НЕ». При соединении выводов согласно Рисунку 2, образуется двухвходовый элемент «ИЛИ-НЕ». Непосредственно после включения питания конденсатор  $C_1$  разряжен, и напряжение  $V_{C1}$  на нем равно нулю. На то время, пока  $C_1$  удерживает вход А в низком логическом состоянии, микросхема  $IC_1$  пре-



вращается в инвертор и образует простой автоколебательный генератор, работающий на частоте, определяемой параметрами компонентов  $C_2$  и  $R_2$ . Прямоугольные импульсы на выходе  $IC_1$  управляют ключевым транзистором  $Q_2$ .

Когда уровень напряжения на выходе  $IC_1$  становится высоким, включается транзистор  $Q_2$  и переходит в режим насыщения, открывая путь току  $I_L$ , текущему через дроссель  $L_1$ . Ток через дроссель нарастает со скоростью, определяемой, в основном, напряжением батареи  $V_{BATT}$ , индуктивностью дросселя  $L_1$  и временем  $t_{ON}$  включения транзистора  $Q_2$ . На этом интервале светодиод  $D_1$  и транзистор  $Q_1$  выключены. При условии, что дроссель не насыщается, ток  $I_L$  нарастает линейно и в конце перед выключением транзистора достигает пикового значения  $I_{L(PEAK)}$ .

Когда выход  $IC_1$  переходит в состояние логического нуля, транзистор  $Q_2$  закрывается, противо-ЭДС дросселя  $L_1$  открывает светодиод  $D_1$ , и напряжение  $V_A$  на его аноде поднимается до уровня, превышающего напряжение батареи  $V_{BATT}$ . Ток проходит через  $L_1$  и  $D_1$  и, по мере убывания энергии, накопленной в  $L_1$ , линейно спадает до нуля. При емкости конденсатора  $C_2$  равной 100 пФ и сопротивлении  $R_2 = 220$  кОм частота колебаний генератора устанавливается в диапазоне примерно от 20 до 30 кГц. В каждом цикле колебаний импульс тока с пиковым уровнем  $I_{L(PEAK)}$  проходит через светодиод. Благодаря высокой частоте повторения и инерционности зрения светодиод кажется постоянно включенным.

В отсутствие элементов  $Q_1$  и  $R_3$  автоколебательный генератор работал бы непрерывно, и светодиод был бы зажжен постоянно. Однако  $Q_1$  и  $R_3$  создают путь заряда для конденсатора  $C_1$ . В той части каждого периода прямоугольных импульсов генератора, когда  $V_A$  становится больше  $V_{BATT}$ , переход база-эмиттер транзистора  $Q_1$  открывается напряжением, падающим на резисторе  $R_3$ , позволяя импульсу тока проходить через  $Q_1$  в конденсатор  $C_1$ . Величина этого импульса тока зависит, прежде всего, от прямого падения

напряжения на  $D_1$  и сопротивления резистора  $R_3$ . После каждого импульса тока заряд конденсатора  $C_1$  немного увеличивается, и напряжение на конденсаторе возрастает. Когда напряжение заряда достигает верхнего порога переключения входа А микросхемы  $IC_1$ , генератор останавливается, и на выходе  $IC_1$  устанавливается низкий уровень напряжения. Соответственно,  $Q_2$  и светодиод закрываются, и импульсы тока перестают проходить через  $Q_1$ .

Затем конденсатор  $C_1$  разряжается через резистор  $R_1$ , и напряжение  $V_{C1}$  падает со скоростью, определяемой только постоянной времени  $R_1C_1$ .  $D_1$  остается выключенным до тех пор, пока напряжение  $V_{C1}$  не упадет ниже нижнего порога переключения входного триггера Шмитта микросхемы  $IC_1$ , после чего колебания генератора возобновляются, светодиод включается, и цикл свечения повторяется.

При указанных на Рисунке 1 номиналах элементов  $C_1$  и  $R_1$  время включенного состояния светодиода в первом приближении пропорционально величине сопротивления  $R_3$ . Если эта величина относительно невелика, вспышка будет короткой, тогда как увеличение сопротивления позволит увеличить время включения светодиода до нескольких секунд. Время, в течение которого светодиод остается выключенным, зависит только от значений  $C_1$  и  $R_1$ . Для того, чтобы напряжение  $V_{C1}$  могло гарантированно превысить верхний порог переключения  $IC_1$ , сопротивление резистора  $R_1$  должно быть больше, чем сопротивление  $R_3$ .

В качестве  $Q_1$  вы можете использовать любой малосигнальный р-п-р транзистор с хорошим коэффициентом передачи тока, поскольку его параметры для схемы не критичны. Однако для максимального использования напряжения батареи в качестве  $Q_2$  выберите прибор с низким напряжением насыщения коллектор-эмиттер. Если напряжение насыщения достаточно мало, чтобы им можно было пренебречь, рассчитать пиковый ток дросселя можно по формуле

$$I_{L(PEAK)} = \frac{V_{BATT} \cdot t_{ON}}{L_1}$$

Интенсивность свечения светодиода пропорциональна его среднему прямому току и, таким образом, частично определяется величиной  $I_{L(PEAK)}$ . Для получения оптимальной яркости свечения подберите время его включения и величину индуктивности  $L_1$  такими, чтобы ток  $I_{L(PEAK)}$  был максимальным, но, в то же время, не превышал предельных значений, допустимых для  $D_1$  и  $L_1$ . Фактическая значение  $L_1$  не является критическим, однако хорошие характеристики и приемлемый КПД получаются в том случае, если индуктивность выбирается из диапазона от 100 до 330 мкГн.

При больших значениях номиналов  $C_1$ ,  $R_1$  и  $R_3$ , светодиод вспыхивает довольно редко. Если выбрать  $C_1 = 3.3$  мкФ,  $R_1 = 1$  МОм и  $R_3 = 100$  кОм, то при напряжении батареи 1.6 В светодиод будет зажигаться с частотой примерно 0.4 Гц. При снижении напряжения  $V_{BATT}$  до 0.8 В немного меняется частота вспышек. Яркость, с которой горит светодиод при напряжении батареи 1.6 В, остается практически неизменной даже тогда, когда напряже-

ние опускается до 0.8 В. Схема продолжает работать и при разряде батареи до 0.65 В, хотя яркость светодиода при таком напряжении уменьшается уже весьма существенно.

Согласно справочным данным на микросхему NC7SV57, ее работа гарантируется в диапазоне напряжений питания от 0.9 В до 3.6 В, что позволяет использовать вентиль в схемах с одной или двумя щелочными батареями, никель-кадмиевыми аккумуляторами или с одним 3-вольтовым литиевым элементом. Микросхему SN74LVC1G57 с аналогичными функциями выпускает Texas Instruments, однако она способна работать в более высоком диапазоне напряжений от 1.65 В до 5.5 В. Если мигающий режим вам не понадобится, просто удалите из схемы  $C_1$ ,  $R_1$ ,  $R_3$  и  $Q_1$ . Для управления включением и выключением светодиода вы можете подвести открывающий сигнал к входу А микросхемы IC<sub>1</sub>. **РЛ**

## Ссылки

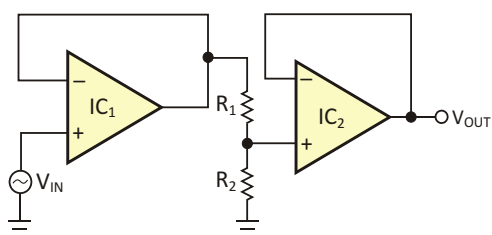
1. Smith, Anthony, «Single cell flashes white LED,» EDN, Dec 11, 2003, pg 84.

# Прецизионному аналоговому аттенюатору не нужны внешние компоненты

Moshe Gerstanhaber u Chau Tran, Analog Devices

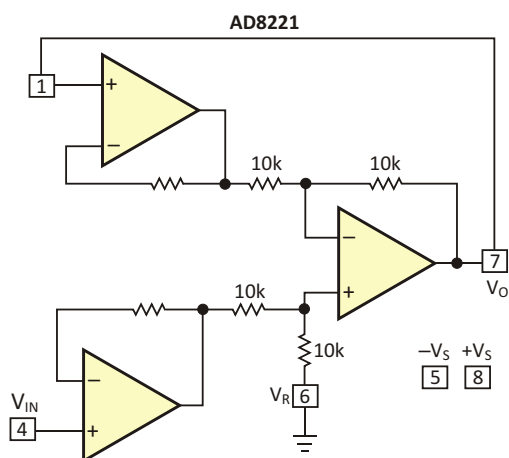
EDN

Многие современные аналого-цифровые преобразователи имеют диапазон входных напряжений всего от 0 до 5 В, и использование их для измерения входных сигналов с размахом  $\pm 5$  В или больше становится проблемой для разработчиков, которые вынуж-



**Рисунок 1.** Для обычного активного делителя напряжения потребуются два операционных усилителя ( $IC_1$ ,  $IC_2$ ) и два резистора ( $R_1$ ,  $R_2$ ).

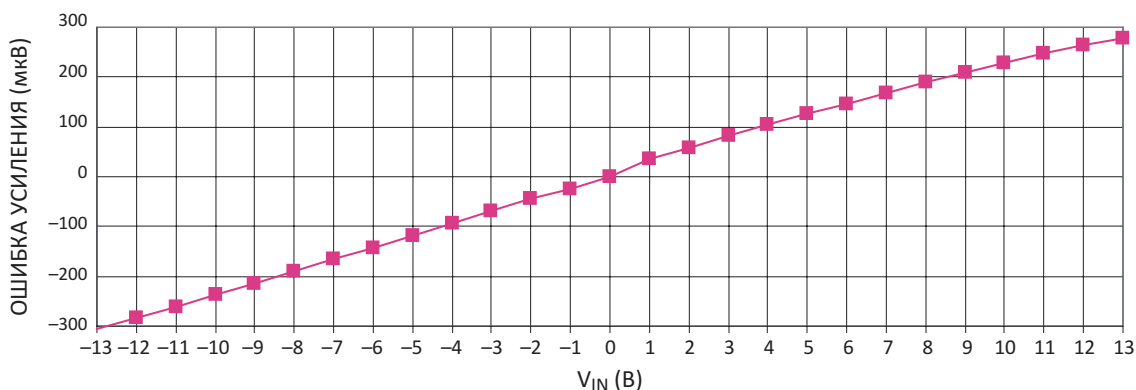
дены задавать вопрос: как отсечь половину полезного аналогового сигнала, не внося ошибок и искажений. Для решения проблемы вы можете использовать аттенюатор, состоящий из двух операционных усилителей и двух резисторов (Рисунок 1). Однако такой подход может привести к появлению дополнитель-



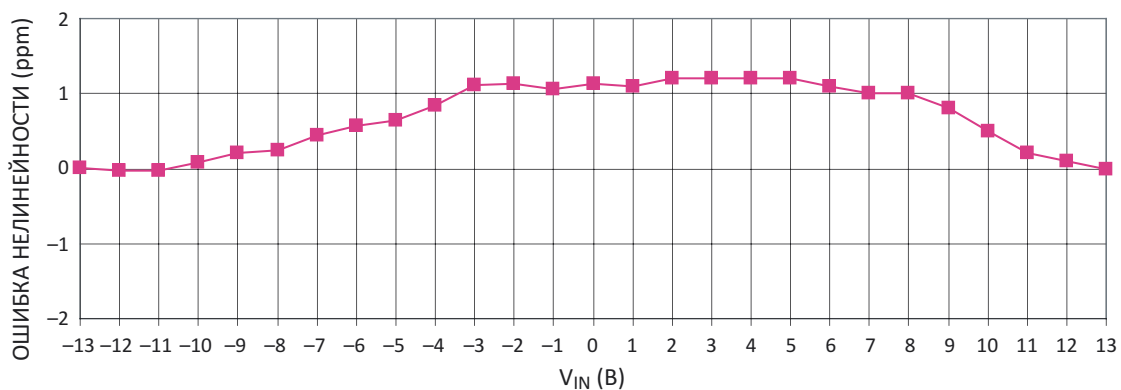
**Рисунок 2.** Чтобы разделить аналоговый сигнал пополам, вы можете воспользоваться инструментальным усилителем. Все резисторы находятся внутри микросхемы.

ных ошибок, обусловленных напряжением смещения усилителя и несогласованностью сопротивлений резисторов.

На Рисунке 2 изображен альтернативный вариант схемы с коэффициентом передачи равным ровно одной второй, низким смещением, низким дрейфом и малыми входными



**Рисунок 3.** Максимальная ошибка полной шкалы схемы на Рисунке 2 остается меньше 300 мкВ в диапазоне входных напряжений 26 В.



**Рисунок 4.** Максимальная ошибка нелинейности схемы на Рисунке 2 в диапазоне входных напряжений 26 В лишь незначительно превышает 1 ppm.

тока, в которой использован измерительный усилитель AD8221.

Напряжение  $V_O$  на выходе усилителя равно разности напряжений на входах  $V_{IN+}$  и  $V_{IN-}$ :

$$V_O = V_{IN+} - V_{IN-}.$$

Соединив выход усилителя с его инвертирующим входом и подставив  $V_O$  в выражение для  $V_{IN-}$ , получим:

$$V_O = V_{IN+} - V_O,$$

или

$$V_O = \frac{1}{2} V_{IN+}.$$

Таким образом, схема без единого внешнего компонента с высокой точностью ослабляет сигнал в два раза, и в данной конфигурации является безусловно устойчивой. Графики на Рисунках 3 и 4 показывают, что в диапазоне входных напряжений, равном 26 В, ошибка коэффициента усиления остается меньше 300 мкВ, а максимальная ошибка нелинейности лишь незначительно поднимается над уровнем 1 ppm.

AD8221 имеет специальный контакт REF (вывод 6), позволяющий сместить выходной сигнал на величину, равную половине напряжения на этом входе. Чтобы сдвинуть выходное напряжение на половину положительного или отрицательного напряжения питания, необходимо соединить вывод REF с соответствующей шиной питания. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices AD8221](#)

# Детектор утечки воды на основе трансформатора от старого дверного звонка

Jeff Tregre

EDN

Вскоре после установки описанная в этой статье простая схема датчика утечки воды спасла меня от неприятностей и сэкономила немало денег. Средний срок жизни водонагревателя составляет порядка десяти лет. Вопрос не в том, протечет ли он, а в том, когда это случится. Строители новых домов на Среднем юге США устанавливали бойлеры на чердаках. Это сэкономило много ценного места, однако, если вы нечасто посещаете чердак, то обнаружить, что водонагреватель протекает, можете слишком поздно. К тому времени ремонт испорченных водой потолков и стен может обойтись вам в сотни долларов.

Изображенная на Рисунке 1 схема определяет факт утечки горячей воды, но вы можете использовать ее и с посудомоечными машинами, измельчителями отходов, льдогенераторами, бассейнами, гидромассажными ваннами и водяными матрасами. На Рисунке 2 показана вся схема в сборе.

Выходное напряжение большинства трансформаторов, используемых в дверных звонках, находится в диапазоне от 16 до 20 В АС. Для управления пьезоизлучателем переменное напряжение выпрямляется. Подключите выводы вторичной обмотки трансформатора к выпрямительному мосту, а затем к элек-

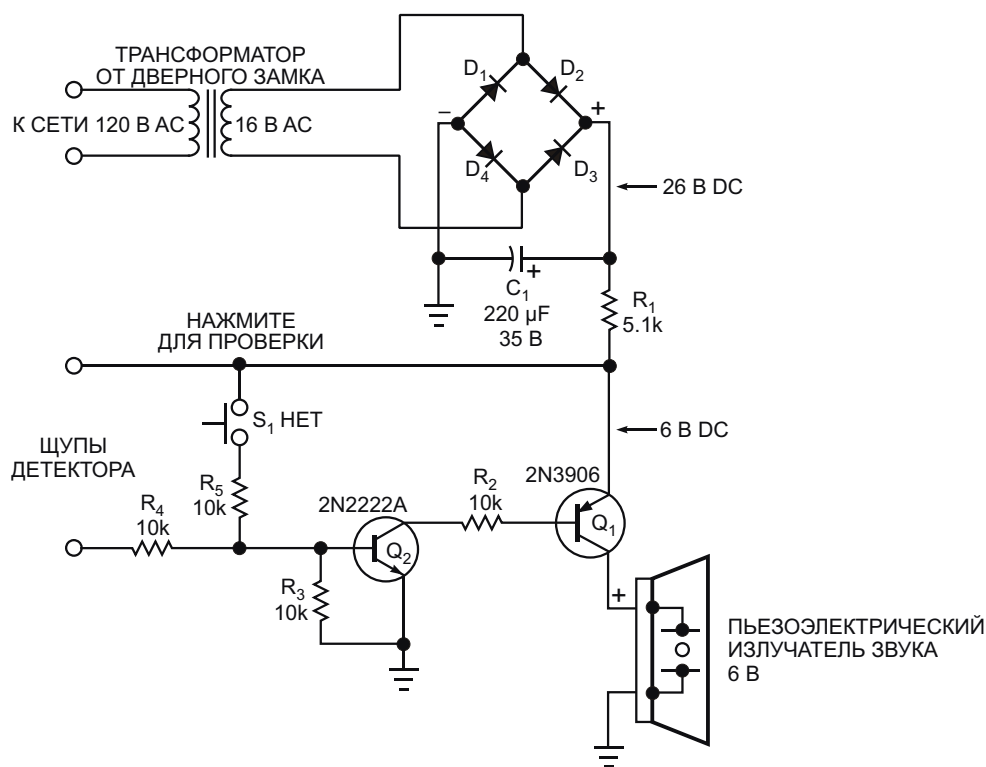
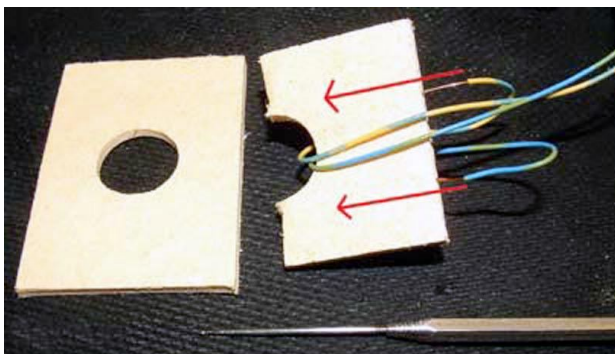


Рисунок 1. Для питания звукового излучателя используются трансформатор от дверного звонка и мостовой выпрямитель.



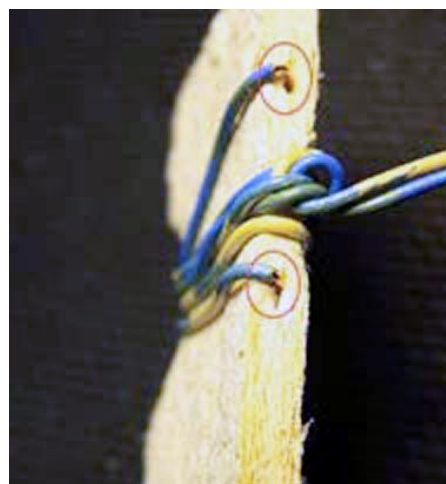
**Рисунок 2.** В схеме имеется кнопка для проверки ее работоспособности.

тролитическому конденсатору фильтра. Напряжение вашего источника питания должно теперь равняться примерно 26 В постоянного тока. Резистор сопротивлением 5.1 кОм огра-



**Рисунок 3.** Чтобы сделать датчик воды, воспользуйтесь губкой и медным проводом.

ничивает ток излучателя звука. При обнаружении воды или нажатии тестовой кнопки на схему будет подано постоянное напряжение



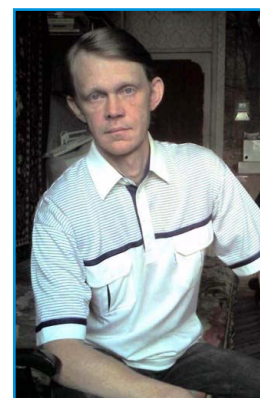
**Рисунок 4.** Контактный датчик в сборе.

порядка 6 В, и излучатель включится. Установите пьезоизлучатель таким образом, чтобы его было хорошо слышно.

Q1 и Q2 могут быть любыми NPN и PNP транзисторами общего назначения, соответственно. Контактный датчик воды сделан из медных проводов, расположенных на расстоянии порядка 25 мм друг от друга. В губке от паяльной станции проколите два отверстия с расстоянием между ними 25 мм. Вставьте в эти отверстия медные провода со снятой изоляцией (Рисунок 3). Оставшуюся часть провода оберните вокруг губки таким образом, чтобы зачищенная часть проводов не выходила из нее (Рисунок 4).

Теперь вы можете поместить эту губку в металлический поддон под бойлером. В случае утечки горячей воды из нагревателя губка впитает ее. Сопротивление между двумя проводами упадет примерно до 1 МОм или ниже, в результате чего откроются два транзистора, и включится излучатель звука. Полная цена этой схемы не должна превышать \$25. Если поблизости от водонагревателя есть еще устройства, требующие контроля утечки воды, вы можете сделать еще один или несколько датчиков и подключить их параллельно первому. **РЛ**

# Универсальный прибор для проверки радиоэлементов из стрелочного тестера



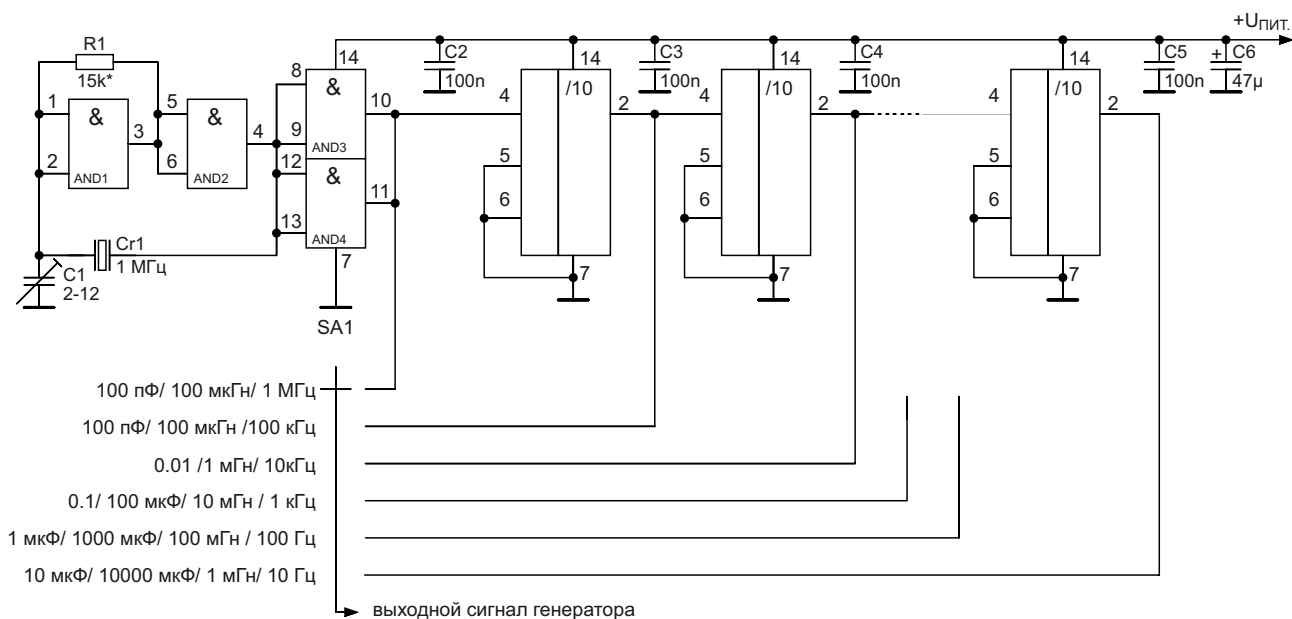
Андрей Барышев, г. Выборг

Стрелочные тестеры типа 4353, 43101 и другие в свое время были широко распространены. Приборы имели встроенную защиту и позволяли производить измерения различных электрических параметров, однако отличались громоздкостью, а при измерении емкости конденсаторов были привязаны к сетевому напряжению. При этом тестеры имели неплохие стрелочные измерительные головки, которые можно использовать в конструкции с гораздо меньшими габаритами и большими возможностями. Так, с использованием этой головки был сделан небольшой настольный аналоговый измерительный прибор с минимальным количеством элементов управления. Он позволяет с достаточной для радиолюбителя точностью измерять емкость неполярных конденсаторов (5 пФ – 10 мкФ), индуктивность катушек (от единиц мкГн до 1 Гн), емкость электролитических конденсаторов (1 мкФ – 10 000 мкФ) и их ESR, иметь «под рукой» фиксированные образцовые

частоты (10, 100, 1000 Гц, 10, 100, 1000 кГц) и, кроме того, в него может быть добавлен встроенный модуль для оперативной проверки работоспособности различных транзисторов малой и большой мощности и определения цоколевки неизвестных транзисторов. Причем проверить параметры большинства элементов можно, не выпаивая их из схемы.

Модульная конструкция прибора позволяет использовать только необходимые функциональные узлы. Ненужные модули можно легко исключить, а нужные также легко добавить при желании. Возможность сохранения «родных» функций прибора – измерения напряжений и токов – также имеется. Ну и, конечно, стрелочная измерительная головка может быть любой другой (с током полного отклонения 50 ... 200 мкА), это не принципиально. Далее будут даны схемы и описания отдельных функциональных «модулей» прибора, а затем – структурная схема всего прибора полностью и схема коммутации отдель-





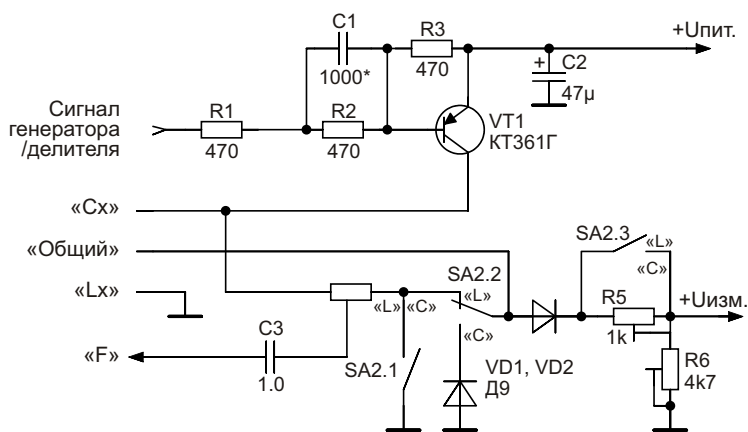
**Рисунок 1.** Генератор 1 МГц с делителями частоты.

ных его узлов. Все схемы были не раз проверены на практике и показали стабильную и надежную работу, без сложных настроек и использования каких-либо специфических деталей. При необходимости сделать компактный прибор для проверки конкретных компонентов и их параметров каждую такую схему-модуль можно использовать отдельно.

## Генератор образцовых частот

Использована широко распространенная схема генератора на цифровых элементах, которая при всей своей простоте обеспечивает набор необходимых рабочих частот с хорошей точностью и стабильностью, не требуя при этом никаких настроек.

Генератор на микросхеме K561ЛА7 (или ЛЕ5) синхронизирован кварцевым резонатором в цепи обратной связи, определяющим частоту сигнала на его выходе (выводы 10, 11), равную в данном случае 1 МГц (Рисунок 1). Сигнал генератора последовательно проходит через несколько каскадов делителей частоты на 10, собранных на микросхемах K176ИЕ4, CD4026 или любых других. С выхода каждого каскада снимается сигнал с частотой в десять раз меньшей входной частоты. С помощью любого переключателя на шесть положений сигнал с генератора или с любого делителя можно вывести на выход. Правильно собранная из исправных деталей схема работает сразу и не нуждается в настройке. Конденсатором С1 при желании



**Рисунок 2.** Модуль измерения емкости и индуктивности.



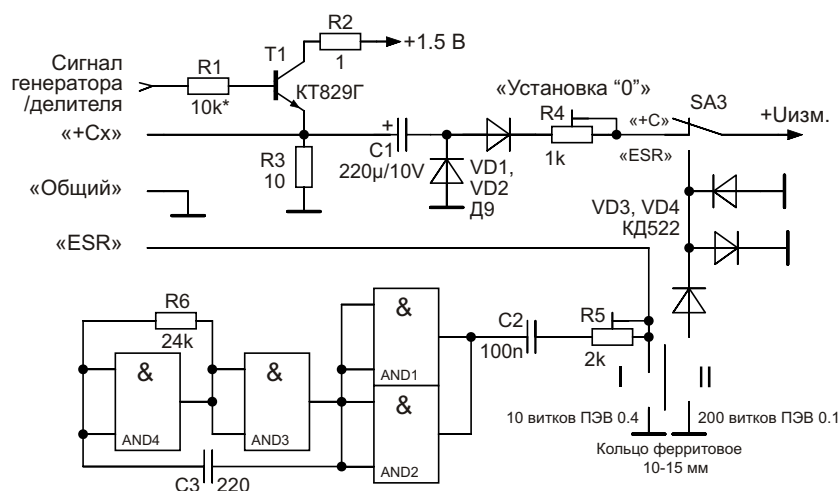


Рисунок 3. Модуль измерения ESR и емкости электролитических конденсаторов.

можно в небольших пределах подстраивать частоту. Схема питается напряжением 9 В.

## Модуль измерения L, C

Схема каскада для измерения емкости неполярных конденсаторов и индуктивностей показана на Рисунке 2. Входной сигнал подается непосредственно с выхода переключателя диапазонов измерений (SA1 на Рисунке 1). Сформированный прямоугольный импульсный сигнал, поступающий на выход «F» через ключевой транзистор VT1, можно использовать для проверки или настройки других устройств. Уровень выходного сигнала можно регулировать резистором R4. Этот сигнал подается также на измеряемый элемент – конденсатор или индуктивность, подключенные, соответственно, к клеммам «С» или «L», при этом переключатель SA2 устанавливается в соответствующее положение. К выходу «Uизм.» подключается непосредственно измерительная головка (возможно, через добавочное сопротивление; см. ниже «Модуль индикации»). Резистор R5 служит для установки пределов измерений индуктивностей, а R6 – емкостей. Для калибровки каскада к клеммам «Сх» и «Общий» на диапазоне 1 кГц подключаем образцовый конденсатор 0.1 мкФ (см. схему на Рисунке 1) и подстроечным резистором R6 устанавливаем стрелку прибора на конечное деление шкалы. Затем подключаем конденсаторы, например, емкостью 0.01, 0.022, 0.033, 0.047, 0.056, 0.068 мкФ и делаем соответствующие метки на шкале. После чего таким же образом калибруем шкалу индук-

тивностей, для чего на этом же диапазоне 1 кГц подключаем к клеммам «Lх» и «Общий» образцовую катушку индуктивностью 10 мГн и подстроечным резистором R5 устанавливаем стрелку на конечное деление шкалы. Впрочем, калибровать прибор можно и на любом другом диапазоне (например, при частоте 100 кГц или 100 Гц), подключая в качестве образцовых соответствующие емкости и индуктивности, согласно выбранному диапазону.

Напряжение питания каскада (Uпит) – 9 В.

## Модуль измерения электролитических конденсаторов (+C и ESR)

Модуль представляет собой микрофардометр, в котором определение емкости производится косвенным образом путем измерения величины напряжения пульсаций на резисторе R3, которое будет меняться обратно пропорционально емкости периодически перезаряжаемого конденсатора. Можно измерять емкости оксидных (электролитических) конденсаторов в диапазонах 10–100, 100–1000 и 1000–10000 мкФ.

Измерительный узел для электролитических конденсаторов собран на транзисторе T1 (Рисунок 3). На вход (R1) подается сигнал непосредственно с выхода генератора-делителя (схема на Рисунке 1), включать который можно параллельно предыдущему модулю. Резистор R1 подбираем в зависимости от типа использованного транзистора T1 и чувствительности используемой измери-

тельной головки. Резистор R2 ограничивает ток коллектора транзистора в случае короткого замыкания в проверяемом конденсаторе. В отличие от других модулей, здесь требуется пониженное стабильное питание 1.2 – 1.8 В; схема стабилизатора на такое напряжение будет приведена ниже на Рисунке 6. Следует отметить, что при измерениях полярность подключения конденсатора к клеммам «+Сх» и «Общий» не имеет значения, а измерения можно выполнять, не выпаивая конденсаторы из схемы. Перед началом измерений резистором R4 стрелка устанавливается на нулевую отметку (конец шкалы).

Перед началом измерений (при отсутствии измеряемого конденсатора «+Сх») резистором R4 стрелка устанавливается на нулевую отметку (конечное деление шкалы). Калибровка шкалы «+Сх» может производиться на любом диапазоне. Например, переводим переключатель SA1 в положение, соответствующее частоте 1 кГц. С помощью R4 устанавливаем стрелку прибора на «0» (конец шкалы) и, подключая к клеммам «+Сх» и «Общий» образцовые конденсаторы емкостью 10, 22, 33, 47, 68 и 100 мкФ, делаем соответствующие отметки на шкале. После этого на других диапазонах (10 Гц и 100 Гц) эти же отметки будут соответствовать емкостям с номиналами в 10 и 100 раз большими, то есть, от 100 до 1000 мкФ (100, 220, 330, 470, 680 мкФ) и от 1000 до 10000 мкФ, соответственно. В качестве образцовых здесь можно использовать танталовые оксидно-полупроводниковые конденсаторы, имеющие наиболее стабильные во времени параметры, например, типов K53-1 или K53-6А.

Узел измерения ESR содержит отдельный генератор 100 кГц, собранный на микросхеме 561ЛА7 (ЛЕ5) по такой же схеме, как и основ-

ной генератор на Рисунке 1. Здесь особой стабильности не требуется, и частота может быть любой от 80 до 120 кГц. От величины последовательного эквивалентного сопротивления подключенного к клеммам конденсатора зависит ток, протекающий через обмотку I трансформатора (намотан на ферритовом кольце диаметром 15 – 20 мм). Марка феррита роли не играет, но, возможно, число витков первичной обмотки нужно будет подкорректировать. Поэтому лучше сначала намотать обмотку II, а первичную – поверх нее. Выпрямленное постоянное напряжение после диода VD5 подается на измерительную головку (модуль индикации на Рисунке 4). Диоды VD3, VD4 ограничивают возможные броски напряжений для защиты стрелочной головки от перегрузки. Здесь полярность подключения конденсатора также не важна, и измерения можно проводить непосредственно в схеме. Пределы измерения можно менять в широких пределах подстроечным резистором R5 – от десятых долей Ома до нескольких Ом. Но при этом следует учитывать влияние сопротивления проводов от клемм «ESR» и «Общий». Они должны быть как можно короче и большого сечения. Если этот модуль будет расположен вблизи с другим источником импульсных сигналов (например, рядом с генератором Рисунок 1), возможен срыв генерации узла на микросхеме. Поэтому узел измерения «ESR» лучше собрать на отдельной небольшой плате и поместить в экран (например, из жести), соединенный с общим проводом.

Для калибровки шкалы «ESR» подключаем к клеммам «ESR» и «Общий» резисторы сопротивлением 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3 Ом и делаем соответствующие отметки на шкале. Чувствительность прибора можно регулиро-

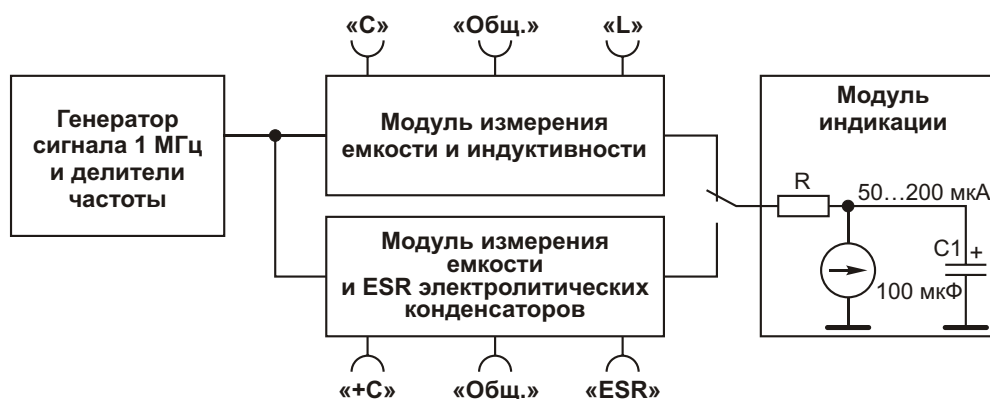


Рисунок 4. Структурная схема измерителя.

вать изменением сопротивления подстроечного резистора R5.

Питание измеритель ESR, так же, как и остальные схемы модуля, напряжением 9 В.

## Схема соединений модулей прибора

Как видно из Рисунка 4, соединение всех «модулей» не представляет сложности. Модуль индикации включает в себя измерительную головку, зашунтированную конденсатором (100 ... 470 мкФ) для устранения «дрожания» стрелки при измерениях в диапазонах с низкой частотой задающего генератора. В зависимости от чувствительности измерительной головки может понадобиться добавочное сопротивление.

Следует иметь в виду, что клемма «Общий» на Рисунке 2 (модуль измерения «С» и «L») **не является общим проводом схемы (!) и требует отдельного гнезда.**

## Дополнения

Составной транзистор Т1 (схема Рисунке 3) при необходимости можно заменить узлом из двух транзисторов меньшей мощности, а в источнике питания 1.4 В можно использовать простой стабилизатор на одном транзисторе. Как это сделать, показано на Рисунках 5 и 6. Функцию стабилитрона здесь выполняют кремниевые диоды VD1-VD3 с суммарным прямым падением напряжения порядка 1.5 В. Включать диоды, в отличие от стабилитрона, нужно в прямом направлении.

При желании можно дополнить прибор модулем для быстрой проверки транзисторов. С его помощью можно проверять любые биполярные транзисторы, а также полевые транзисторы малой и средней мощности. Причем биполярные транзисторы и, в ряде случаев, полевые, можно проверять без выпаива-

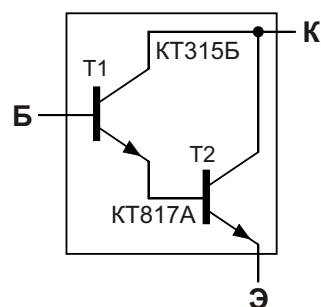


Рисунок 5. Замена KT829Г.

ния их из схемы. Представленная на Рисунке 7 схема представляет собой комбинацию мультивибратора и триггера, где вместо резисторов нагрузки в коллекторные цепи транзисторов мультивибратора включены транзисторы с идентичными параметрами, но противоположной структуры (VT2, VT3). Резисторы R6, R7 задают необходимое напряжение смещения рабочей точки проверяемого транзистора, а R5 ограничивает ток через светодиоды и определяет яркость их свечения.

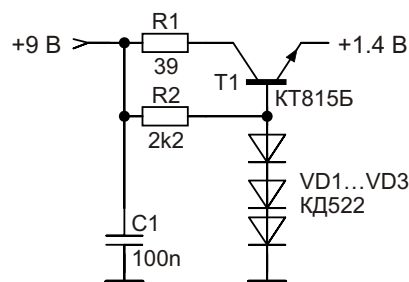


Рисунок 6. Стабилизатор низковольтный.

В зависимости от типа используемых светодиодов, возможно, придется подобрать сопротивление R5, ориентируясь на оптимальную яркость их свечения, или же поставить дополнительный гасящий резистор в цепь питания 9 В. Следует заметить, что эта схема работает с питающим напряжением, начиная от 2 В. Когда к клеммам «Э», «Б»,

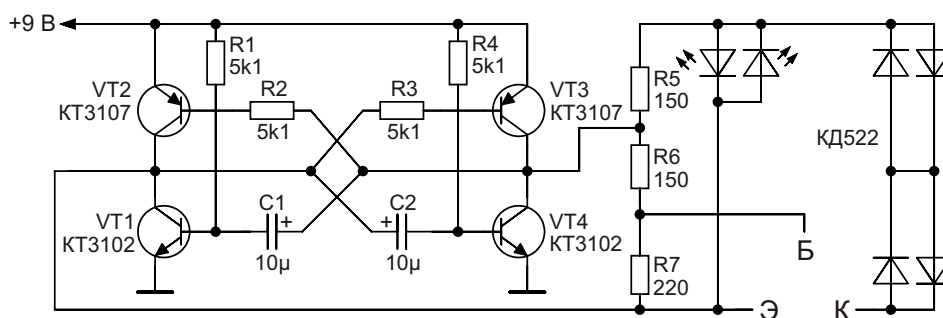


Рисунок 7. Схема для проверки транзисторов.

«К» ничего не подключено, оба светодиода мигают. Частоту мигания можно подстраивать, меняя емкости конденсаторов С1 и С2. При подключении к клеммам исправного транзистора один из светодиодов погаснет, в зависимости от типа его проводимости – р-п-р или п-р-п. Если транзистор неисправен, оба светодиода будут мигать (внутренний обрыв) или оба погаснут (замыкание). Помимо клемм «Э», «Б», «К» на самом приборе (клеммная колодка, «фрагмент» панельки под микросхемы и прочее), можно параллельно им вывести из корпуса на проводах соответствующие щупы для проверки транзисторов на платах. При испытаниях полевых транзисторов клеммы «Э», «Б», «К» соответствуют выводам «И», «З», «С».

Следует учесть, что полевые транзисторы или очень мощные биполярные все-таки лучше проверять, выпаяв из платы.

**При измерениях номиналов любых элементов непосредственно на плате следует обязательно отключить питание схемы, в которой производятся измерения!**

Прибор занимает мало места, уместаясь в корпусе 140 110 40 мм (см. фото справа в начале статьи) и позволяет с достаточной для радиолюбителей точностью проверять практически все основные типы радиокомпонентов, чаще всего используемых на практике. Прибор без нареканий эксплуатируется в течение нескольких лет. [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!**