

ЖУРНАЛ ДЛЯ ТЕХ, КТО ИНТЕРЕСУЕТСЯ ЭЛЕКТРОНИКОЙ

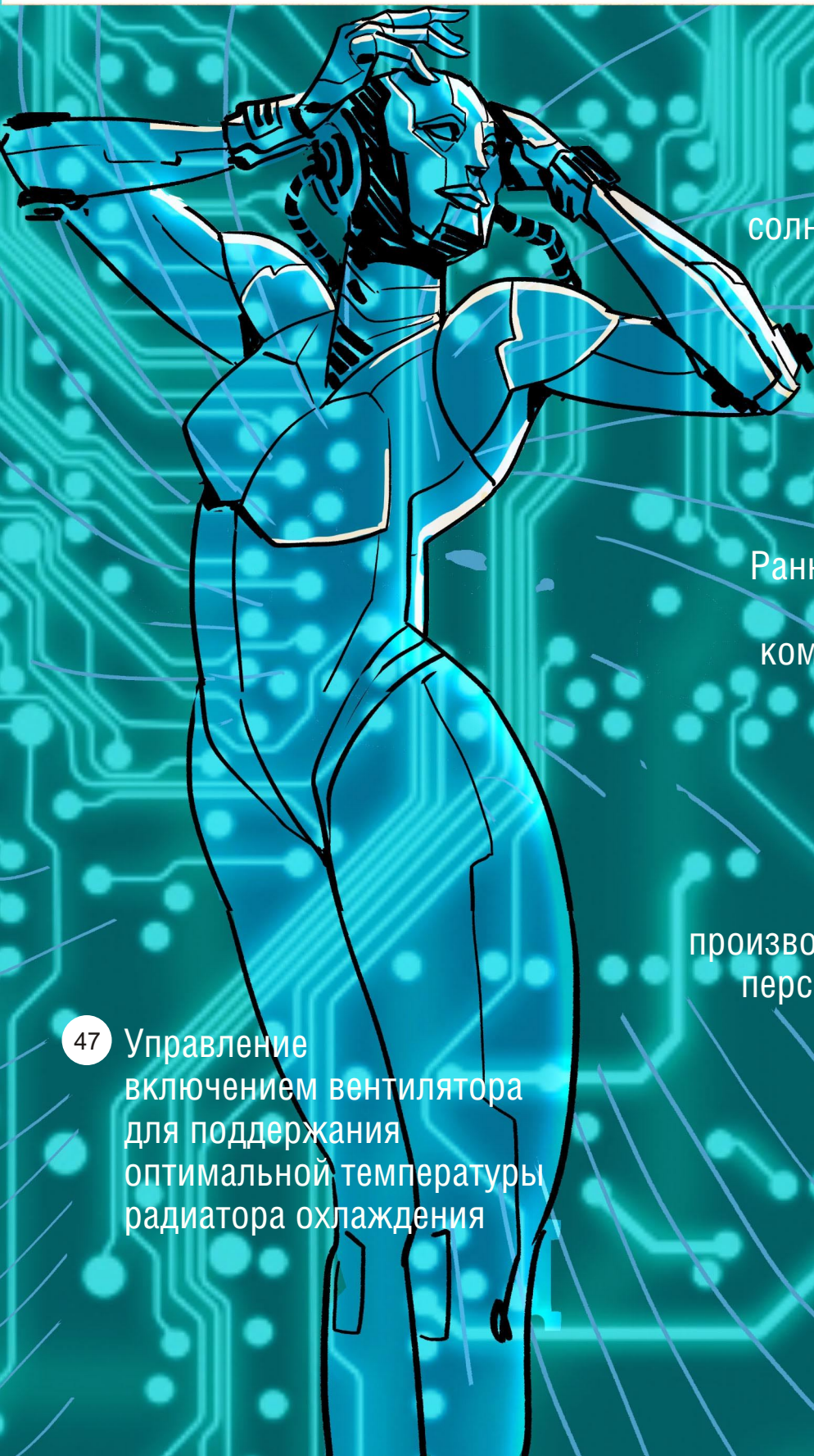
WWW.RLOCSMAN.RU



# РАДИОЛОЦМАН



Июнь 2019 (97)



Самые большие  
солнечные электростанции  
на Земле 39

Ранние графические чипы,  
изменившие  
компьютерную индустрию 31

Raspberry Pi 4: за \$35  
производительность на уровне  
персонального компьютера 20

47 Управление  
включением вентилятора  
для поддержания  
оптимальной температуры  
радиатора охлаждения



## РАДИОЛОЦМАН.ЖУРНАЛ

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

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

## РАДИОЛОЦМАН.ФОРУМ

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

Обсуждайте статьи и новости, общайтесь!  
Приглашаем профессионалов.

## РАДИОЛОЦМАН.ЦЕНЫ

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

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

## РАДИОЛОЦМАН.СОЦ.СЕТИ

Обновления в привычном формате.



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



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



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

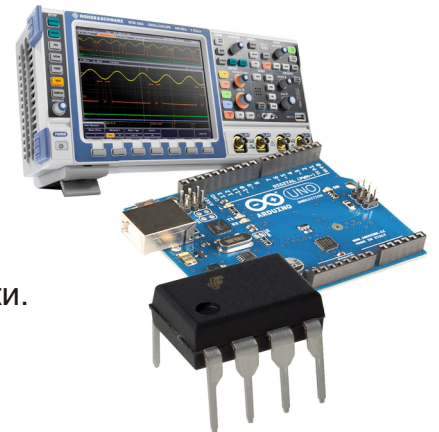


[twitter.com/rlocman](http://twitter.com/rlocman)

И еще многое другое на портале:

## РАДИОЛОЦМАН. ...

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





Главный редактор:

А. Николаев

Над номером  
работали:

Д. Леканов  
В. Колесник  
С. Муратчаев  
А. Николаев  
М. Русских  
А. Русу

Обложка:

А. Кравчук

Директор:

С. Муратчаев

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

rlocman@rlocman.ru

+7 (903) 721-72-14

www.rlocman.ru

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

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

Мнения авторов не всегда отражают точку зрения редакции.

Оформление  
бесплатной подписки:

www.rlocman.ru/magazine

## Новости

- 4 STMicroelectronics выпускает новый модуль ГНСС, оптимизированный для массового рынка приложений отслеживания и навигации
- 5 Wolfspeed выпускает 1200-вольтовый SiC MOSFET с самым низким в отрасли сопротивлением канала
- 5 Переключатель портов USB Type-C компании Diodes позволяет новейшим мобильным устройствам поддерживать устаревшие источники сигналов данных и аудио
- 6 SMI представляет датчик ультразвукового манометрического давления с лучшей в отрасли точностью
- 7 Toshiba начала поставки новых миниатюрных низковольтных фотореле
- 8 Diodes анонсировала новый транслятор уровней для сетевых и серверных приложений
- 9 Nichia запускает производство УФ светодиодов с длиной волны излучения 280 нм
- 10 Murata разработала антенный модуль миллиметрового диапазона для создания следующего поколения высокоскоростных беспроводных сетей
- 11 KEMET выпускает новые сильноточные SMD дроссели серии METCOM для высокоэффективных приложений
- 11 Diodes выпустила адаптивный подавитель пульсаций тока светодиодов для профессиональных источников света
- 12 Toshiba начала производство компактной высокоэффективной микросхемы драйвера щеточных двигателей в корпусе HSOP8 с популярным расположением выводов
- 13 Maxim выпускает на рынок прецизионный двунаправленный токоизмерительный усилитель с подавлением сигнала ШИМ
- 14 Toshiba выпустила микросхемы контроллеров трехфазных бесщеточных двигателей с синусоидальным управлением
- 15 Новый импульсный регулятор STMicroelectronics повысит надежность автомобильных приложений
- 16 AKM разработала высококачественный 4-канальный АЦП для многоканальной записи
- 17 Infineon начала производство высокоточных цифровых датчиков Turbo MAP
- 17 Ricoh Electronic выпускает понижающие DC/DC преобразователи с ультранизкими выходными напряжениями
- 18 Новые высокотемпературные варисторы Vishay выдерживают импульсные токи до 13 кА
- 19 AKM выпускает прецизионный трехосевой магнитный датчик мирового класса
- 20 Raspberry Pi 4: за \$35 производительность на уровне персонального компьютера
- 21 Torex представила серию LDO регуляторов со сверхнизким потреблением тока

## Статьи

- 24 Как рассчитать импульсный преобразователь электрической энергии? Часть 2
- 31 ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ. Ранние графические чипы, изменившие компьютерную индустрию
- 35 MERUS – многоуровневые аудиоусилители класса D для сверхкомпактных приложений. Часть 2
- 39 Самые большие солнечные электростанции на Земле

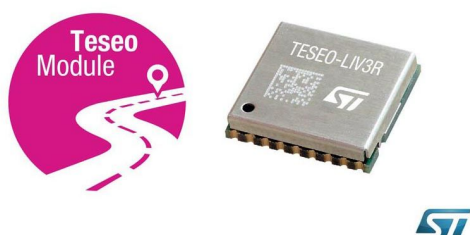
## Схемы

- 44 Умножитель/делитель частоты цифровых сигналов с RC-цепочкой в цепи обратной связи
- 47 Управление включением вентилятора для поддержания оптимальной температуры радиатора охлаждения. Часть 1
- 52 Простая схема управляет скоростью изменения напряжения на нагрузке
- 54 Защита таймера 555 от ложных запусков
- 56 Как прочитать данные измерения индикатора часового типа и переслать эти данные на персональный компьютер
- 62 Схема активного фильтра для исследования выходного сигнала усилителя класса D
- 64 Схема ШИМ на операционном усилителе
- 66 Генератор зашумленной синусоиды на основе звуковой карты
- 68 Фильтр опорного напряжения улучшает отношение сигнал/шум 32-битного АЦП на 6 дБ

## STMicroelectronics выпускает новый модуль ГНСС, оптимизированный для массового рынка приложений отслеживания и навигации

STMicroelectronics (ST) расширила ассортимент устройств ГНСС, выпустив модуль Teseo-LIV3R, программы управления которым хранятся в ПЗУ. Предлагаемый по конкурентной цене модуль поддерживает полный набор алгоритмов ГНСС компании ST для бюджетных устройств слежения и навигации.

Teseo-LIV3R ROM Module  
GNSS solution for accurate tracking



Новый модуль ГНСС выполняет функции одометра с тремя счетчиками пробега и оповещением о пройденном расстоянии, наряду с возможностью задания до восьми настраиваемых круговых геозон и сигнализацией о пересекающихся кругах. Поддержка в реальном времени дифференциального позиционирования с бесплатным доступом к серверу обеспечивает бесперебойное поступление координат для надежной навигации.

Одновременное отслеживание спутниковых группировок GPS, GLONASS, Beidou и QZSS, а также поддержка стандарта дифференциального позиционирования RTCM v3.1 гарантируют отличную точность в пределах 1.5 м (круговое вероятное отклонение 50%). Чувствительность в режиме слежения –163 дБм и время первого определения местоположения менее одной секунды определяют высокий уровень характеристики для самых требовательных приложений. Модуль прост в использовании и может управляться командами NMEA.

Благодаря потреблению мощности, масштабируемому в соответствии с точностью измерений, средним током и частотой определения местоположения, а также режиму останова с сохранением питания часов реального времени, в котором потребляемый ток составляет менее 15 мкА, и поддержке нескольких режимов пониженного энергопот-

ребления, Teseo-LIV3R является идеальным выбором для приложений, питающихся от батарей. Режимы пониженного энергопотребления включают в себя режим непрерывного определения координат с адаптивными и энергосберегающими циклическими режимами, периодическое определение только с GPS и определение по требованию, когда устройство находится в постоянном режиме ожидания.

Для упрощения и ускорения создания новых продуктов, модуль сертифицирован на соответствие требованиям FCC и поддерживается Открытой средой разработки STM32. Доступны приложения STM32 для расширенной геолокации, интеллектуального отслеживания и серверной поддержки ГНСС, а в конструировании аппаратуры помогут оценочная плата EVB-LIV3x и плата расширения X-NUCLEO-GNSS1A1. Программный пакет Teseo Suite для ПК поможет легко сконфигурировать модуль и произвести тонкую настройку его характеристик. Разработчики также могут присоединиться к развиваемому ST сообществу ГНСС, чтобы поделиться информацией и углубить свои знания в этой области.



Плата расширения X-NUCLEO-GNSS1A1, основанная на миниатюрном модуле ГНСС Teseo-LIV3F.

Модуль Teseo-LIV3R выпускается серийно в корпусе LCC18 размером 9.7 мм × 10.1 мм. Цена одного прибора в партиях из 1000 штук составляет \$7.3.

## Wolfspeed выпускает 1200-вольтовый SiC MOSFET с самым низким в отрасли сопротивлением канала

Wolfspeed (подразделение компании Cree) укрепила свои лидирующие позиции в технологии SiC транзисторов, выпустив 1200-вольтовый SiC MOSFET с самым низким в отрасли сопротивлением открытого канала. Разработчики могут сократить количество компонентов, перейдя от трехуровневой топологии, основанной на кремниевых приборах, к более простым двухуровневым топологиям, которые стали доступными благодаря улучшенным характеристикам переключения. Использование отдельного вывода Кельвина может дополнительно снизить потери переключения на 30% по сравнению с традиционным 3-выводным корпусом TO-247. Обладая наименьшим сопротивлением среди всех приборов, доступных на современном рынке, и низким зарядом затвора, C3M0016120K идеально подходит для трехфазных безмостовых топологий корректоров коэффициента мощности, а также для использования в инверторах и зарядных устройствах.



### Особенности транзистора

- Самое низкое в отрасли сопротивление открытого канала: 16 мОм;

- Допустимое напряжение сток-исток 1200 В во всем диапазоне рабочих температур (–40 °С ... 175 °С);
- Управляющее напряжение затвора 15 В;
- Низкоимпедансный корпус с дополнительным выводом для подключения истока по методу Кельвина;
- Пути утечки по корпусу и между выводами стока и истока, превышающие 8 мм;
- Высокая скорость переключения при низкой выходной емкости;
- Быстрый внутренний диод с низким зарядом восстановления;
- Простота управления и параллельного объединения.



### Целевые приложения

- Солнечные инверторы и системы хранения энергии;
- Зарядные устройства электрических транспортных средств;
- Источники бесперебойного питания (ИБП);
- Драйверы двигателей;
- Импульсные источники питания.

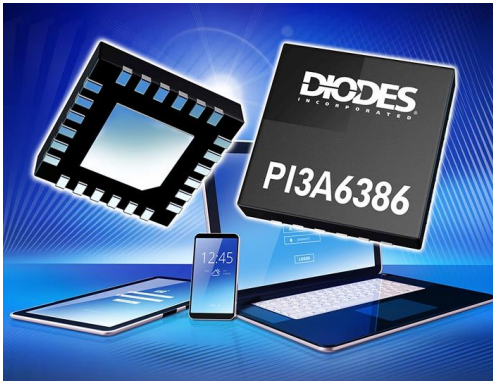
## Переключатель портов USB Type-C компании Diodes позволяет новейшим мобильным устройствам поддерживать устаревшие источники сигналов данных и аудио

Компания Diodes анонсировала выпуск микросхемы PI3A6386 – коммутатора мультимедийных портов USB Type-C, предназначенного для того, чтобы дать производителю возможность продолжать поддержку устаревшей цифровой и аналоговой периферии через порты USB Type-C. Используя порты USB Type-C в мобильных телефонах и планшетах, производители смогут удалить другие

порты, такие как аудио разъемы 3.5 мм и USB 2.0. Переключатель портов PI3A6386 позволит передавать сигналы данных и аудио от устаревших источников через порт USB Type-C, предоставляя потребителям возможность продолжать использовать существующие периферийные устройства.

Характеристики переключателя портов PI3A6386 гарантируют высокий уровень





качества звука, без искажений и помех. Микросхема включает в себя автономные переключатели микрофона и линий заземления, а ее КМОП конструкция гарантирует, что сопротивление открытого транзистора в линии коммутации звука не превысит 1 Ом. Одной из приоритетных целей разработки PI3A6386 было обеспечение низких перекрестных помех между каналами данных и аудио, в результате чего взаимопроникновение каналов удалось подавить до уровня  $-85$  дБ на частоте 30 кГц.

Другие функциональные особенности включают программируемые времена мягкого запуска и мягкого останова, устраняющие щелчки и клики, которые могут проникать в аудиосигналы, когда они связаны по постоянному току. Это обеспечивает звучание, свободное от искажений. PI3A6386 работает от источника питания с напряжением между 1.7 В и 5.5 В, что позволяет использовать его в портативных устройствах. Способность коммутатора обрабатывать сигналы размахом до  $\pm 3$  В дополнительно улучшает динамический диапазон и качество звука.

PI3A6386 поддерживает спецификации USB 2.0 High Speed и Full Speed, а также режим аудио-аксессуара интерфейса USB Type-C. Общий уровень гармонических искажений в полосе от 20 Гц до 20 кГц на нагрузке 32 Ом при выходном сигнале 2.0 В с.к.з. не выходит за пределы  $-110$  дБ. Кроме того, для земляных шин аудио и данных используются отдельные коммутаторы, что еще больше снижает перекрестные помехи.

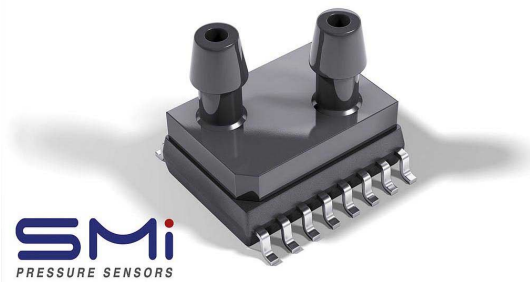
PI3A6386 выпускается в корпусе TQFN-24.

## SMI представляет датчик ультранизкого манометрического давления с лучшей в отрасли точностью

*Калиброванные и компенсированные приборы с диапазонами измерений всего 250 Па*

SMI (Silicon Microstructures, Inc.), дочерняя компания Elmos, выпустила систему датчиков ультранизкого манометрического давления. Приборами серии SM923X SMI расширила пределы измерения ультранизких давлений всего до 250 Па (1 дюйм водяного столба). Датчик с полной температурной компенсацией и калибровкой давления обеспечивает точные измерения в промышленных и медицинских приложениях, а также в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC). Лучшие в отрасли значения выходной точности (1% от полной шкалы) и долговременной стабильности были достигнуты благодаря объединению в одном корпусе запатентованного SMI МЭМС преобразователя давления и новейшей микросхемы обработки сигналов.

Серия SM923X отвечает строгим требованиям, предъявляемым к надежности промышленных, медицинских и климатических систем. Компактное решение SMI заменяет традиционно громоздкое и дорогостоящее



оборудование и повышает эффективность системы за счет более высокой точности и надежности. Общая погрешность измерения после установки на плату и автоматического обнуления на системном уровне составляет менее 1% полной шкалы во всем скомпенсированном температурном диапазоне. 16-битное разрешение обеспечивает возможность обработки сигналов с точностью до 0.0038 Па. Превосходное поведение при прогреве и долговременная стабильность дают дополнительную гарантию неизменности

ожидаемых характеристик в течение всего срока службы устройства.

## Простая интеграция в систему

Датчики SM923X полностью откалиброваны и готовы к использованию. Цифровой интерфейс I<sup>2</sup>C обеспечивает простоту подключения к системному контроллеру. Режим глубокого сна дает возможность создавать новые пользовательские приложения, включая беспроводные измерения давления в системах отопления, вентиляции и кондиционирования. Устройства SMI содержат фильтры шумов высокого порядка и цепи, обеспечивающие исключительно низкую чувствительность к электромагнитным помехам. Компактный корпус SO16 с двойным вертикальным портом позволяет легко интегрировать устройство в систему и подключить давление, а сам МЭМС датчик обладает устойчивостью к высокому давлению разрыва. Использование датчика в системе дополнительно облегчается за счет его нечувствительности к положению установки и вибрациям.

Датчик манометрического давления выпускается в трех конфигурациях:

- SM9233 – 0 ... +250 Па (0 ... 1 дюйм водяного столба);
- SM9235 – 0 ... +300 Па (0 ... 1.2 дюйма водяного столба);
- SM9236 – 0 ... +600 Па (0 ... 2.4 дюйма водяного столба).

Устройства подготовлены к серийному производству. Потребителям доступны единичные образцы для апробирования.

## Основные сферы использования

Приборы серии SM923X обеспечивают точное измерение давления в промышленных системах управления, таких как регуляторы давления и пневматические клапаны, например, в устройствах обнаружения утечек. Другим применением датчика является измерение давления газа в вакуумных насосах. В оборудовании HVAC датчики давления используются для контроля работы фильтров и управления воздушными клапанами. С помощью решения SMI воздух можно распределять более разумно, что позволяет экономить энергию.

В медицинских приложениях датчики ультранизкого манометрического давления используются для определения вентиляционного давления и давления всасывания, например, в кислородно-дыхательном оборудовании. Интеграция и использование в дыхательном оборудовании облегчаются благодаря нечувствительности датчика к положению установки, высокому разрешению и низкому уровню шумов.

Серия SM923X дополняет линейку датчиков сверхнизкого давления компании SMI решением для измерения манометрического давления.

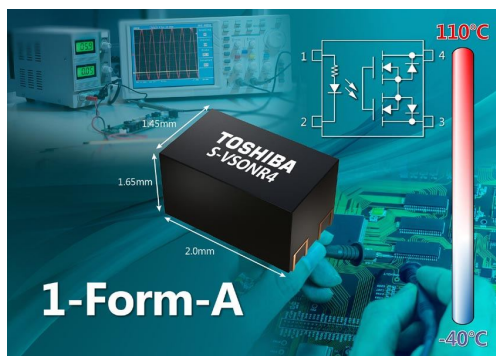
## Toshiba начала поставки новых миниатюрных низковольтных фотореле

*Крошечные корпуса позволяют увеличить плотность монтажа тестового оборудования*

Toshiba Electronics Europe представила семейство из пяти фотореле, выпускаемых в одном из самых миниатюрных корпусов среди предлагаемых отраслью аналогичных

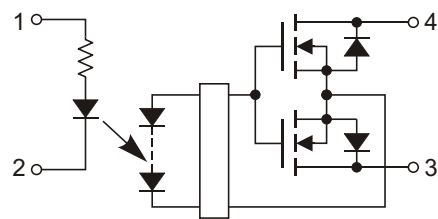
приборов. Новые устройства подходят для использования в автоматическом контрольно-измерительном оборудовании, тестерах микросхем и зондовых платах.

Благодаря встроенному резистору два прибора серии TLP34xxSRL и три прибора серии TLP34xxSRH управляются не током, а напряжением. TLP3406SRL и TLP3407SRL поддерживают входные напряжения в диапазоне от 1.8 В до 3.3 В (типичные значения), в то время как TLP3406SRH, TLP3407SRH и TLP3412SRH рассчитаны на диапазон от 3.3 В до 5 В (типичные значения). Эти характеристики улучшают совместимость с современными ПЛИС.



Новые фотореле поставляются в крошечных корпусах S-VSONR4 (2.0 мм × 1.45 мм), требующих на печатной плате площади всего 2.9 мм<sup>2</sup>, что примерно на 27% меньше, чем самые миниатюрные корпуса Toshiba предыдущего поколения VSONR4 (2.75 мм × 1.45 мм). Кроме того, все устройства имеют встроенный входной резистор, дополнительно экономящий место на печатной плате. Крошечные размеры дадут инженерам возможность создавать более компактное тестовое оборудование, особенно зондовые платы. Это также позволит увеличить количество фотореле на плате для создания решений с более высокой плотностью компоновки.

Несмотря на крошечные размеры, фотореле могут коммутировать большие токи. TLP3406SRx имеют сопротивления открытого ключа не более 0.2 Ом, переключают токи до 1.5 А и в выключенном состоянии выдер-



Внутренняя схема фотореле.

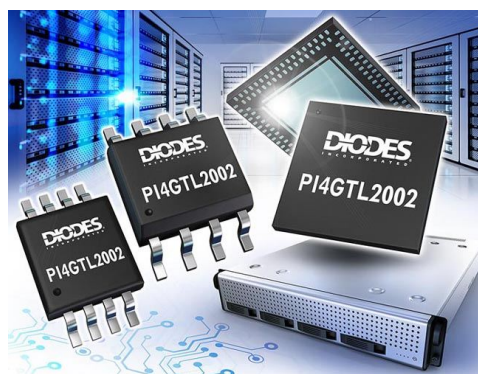
живают напряжение 30 В, тогда как для TLP3407SRx эти значения составляют 0.3 Ом, 1 А и 60 В, а для TLP34012SRH – 1.5 Ом, 0.4 А и 60 В. Это делает все новые приборы хорошо подходящими для приложений электропитания устройств в широком спектре испытательного оборудования. Все фотореле гарантированно работают при температурах до 110 °С и обеспечивают напряжение изоляции 500 В с.к.з.

Поставки новых приборов уже начались.

## Diodes анонсировала новый транслятор уровней для сетевых и серверных приложений

Компания Diodes анонсировала новое дополнение к своему семейству низковольтных трансляторов уровней, обеспечивающих простоту и автономность двунаправленного обмена данными. Микросхема PI4GTL2002 представляет собой 2-битную схему сдвига уровней, предназначенную для преобразования сигналов с одним уровнем напряжения в сигналы с более высокими или низкими уровнями, например, сигналов приемопередатчиков GTL или GTL+ (Gunning transceiver logic) в уровни LVTTTL/TTL. Поскольку ведущие производители процессоров продолжают включать в свои продукты интерфейсы GTL+, возрастает потребность в высокоэффективных преобразователях уровня для сетевого и серверного оборудования. PI4GTL2002 не только удовлетворяет спрос в таких приборах, но и дает дополнительное преимущество, освобождая от необходимости управления направлением передачи.

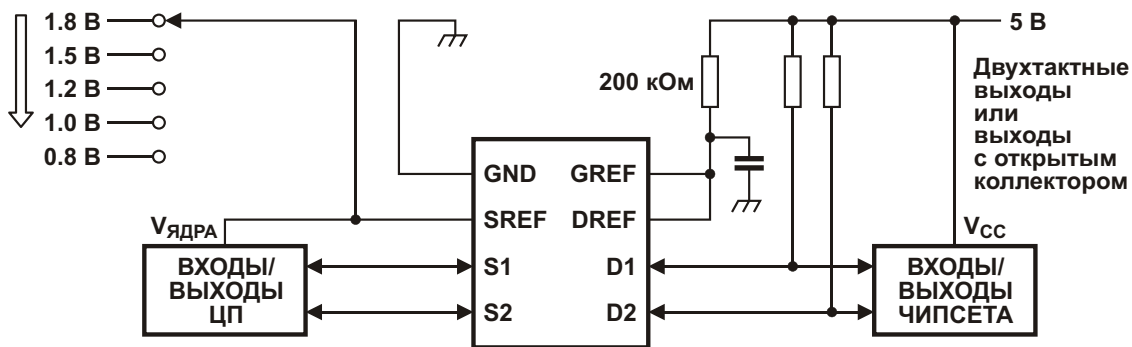
Решение с открытым стоком позволяет PI4GTL2002 преобразовывать уровни напряжений в любом направлении без потери пропускной способности и без усложнения конструкции из-за необходимости выделения отдельного сигнала управления направлением. Устройство одинаково работает в обоих



направлениях, сдвигая уровни от 0.8 В до 5 В (КМОП) с задержкой распространения между входами и выходами менее 1.5 нс. Таким образом, PI4GTL2002 может поддерживать ряд вариантов использования, включая стандартный и высокоскоростной режимы I<sup>2</sup>C.

Для управления направлением передачи используются объединенные затворы внутренних n-канальные проходных транзисторов, при этом для каждого из двух сигналов имеется отдельный источник опорного напряжения. Это позволяет разработчикам подавать различные напряжения на любую сторону устройства, обеспечивая трансляцию разноуровневых сигналов в диапазоне от 0.8 В до 5 В.





Типовая схема включения PI4GTL2002UEX.

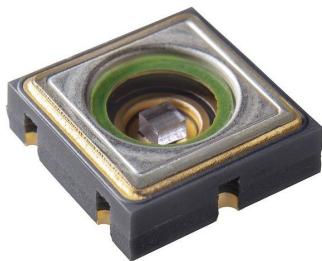
Удобное сквозное расположение выводов PI4GTL2002 упрощает разводку печатных плат. Низкие входные и выходные емкости уменьшают задержку распространения, а низкие сопротивления открытых проходных

транзисторов, равные всего 3.5 Ом, минимизируют искажения сигнала.

Версия PI4GTL2002UEX выпускается в корпусе U-QFN, PI4GTL2002WEX – в корпусе W-QFN, а PI4GTL2002XTEX – в XT-QFN.

## Nichia запускает производство УФ светодиодов с длиной волны излучения 280 нм

Корпорация Nichia представила новый светодиод NCSU334A, излучающий в дальней области ультрафиолетового (УФ) спектра.



За многие годы Nichia добилась значительных успехов в создании УФ светодиодов длинноволнового диапазона (UVA), особенно в части их герметизации эпоксидными компаундами для традиционных приложений. Теперь же, с выпуском нового УФ светодиода NCSU334A, работающего на длине волны 280 нм, Nichia освоила коротковолновую область УФ спектра (UVC) и сможет предложить массовому рынку новые решения для очистки воды и стерилизации воздуха с использованием твердотельных источников света. Благодаря небольшим размерам (6.8 мм × 6.8 мм) и хорошим характеристикам (типичная мощность оптического излучения 55 мВт при токе 350 мА), NCSU334A позволит создавать миниатюрные системы с длитель-

ным сроком службы, что было невозможно при использовании предыдущих технологий.

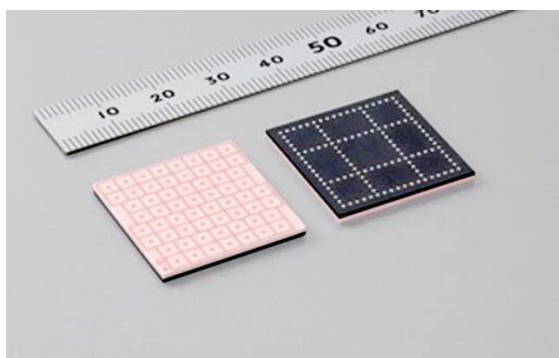
Кристаллы обычных UVC светодиодов (200-280 нм) сложнее в производстве, чем кристаллы UVA светодиодов (365-405 нм), а срок их службы короче. Благодаря уникальной технологии выращивания кристаллов, которую Nichia на протяжении многих лет отработывала на UVA светодиодах, компания смогла успешно завершить разработку самого высококачественного в мире UVC светодиода с высокой интенсивностью излучения и большим сроком службы. NCSU334A намного увеличивает срок службы источников света по сравнению с обычными УФ лампами. Кроме того, для светодиода был специально разработан новый герметичный полимерный корпус, делающий его высоконадежным продуктом, менее восприимчивым к внешним условиям окружающей среды, и потому пригодным для самых жестких условий эксплуатации.

Nichia рассчитывает, что этот светодиод будет способствовать полной замене ртутных ламп, создающих экологические проблемы для будущего мира. Nichia намерена продолжить улучшение характеристик своих UVC светодиодов, чтобы создать новый рынок, использующий преимущества твердотельных источников дальнего УФ излучения.

## Murata разработала антенный модуль миллиметрового диапазона для создания следующего поколения высокоскоростных беспроводных сетей

*Разработан радиочастотный антенный модуль для миллиметрового диапазона частот (60 ГГц)*

Компания Murata Manufacturing приступила к серийному производству радиочастотного антенного модуля миллиметрового диапазона (60 ГГц), обеспечивающего высокоскоростную широкополосную связь, необходимую для создания беспроводных сетей следующего поколения.



### Предпосылки разработки

Растет потребность в увеличении пропускной способности Интернета, необходимой для такого контента, как видео сверхвысокой четкости (HD, 4K), дополненная реальность и виртуальная реальность. Кроме того, для построения проводных сетей, охватывающих большие площади, требуется огромное количество кабелей и рабочей силы. Значительны также затраты на создание и обслуживание этой инфраструктуры. Благодаря поддержке стандарта беспроводных локальных сетей IEEE802.11ad миллиметрового диапазона, новый радиочастотный антенный модуль будет способствовать созданию беспроводных сетей следующего поколения, использующих частоту 60 ГГц.

Кроме того, разрабатывая этот новый модуль, Murata предусматривала его эксплуатацию в наружных приложениях, таких как базовые станции операторов связи. Благодаря использованию независимо разработанной низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC), он обеспечивает стабильное качество связи, а также высокую термостойкость и влагостойкость.

Ожидается, что новый модуль будет использоваться в широком спектре таких приложений, как связь между базовыми станциями мобильных телефонов, включая беспроводную связь следующего поколения 5G, для обмена между точками доступа Wi-Fi и в сетях беспроводной связи умных городов.

### Особенности продукта

- Обеспечивает связь на скоростях до 4.62 Гбит/с на канал и поддерживает стандарт беспроводных локальных сетей IEEE802.11ad.
- Реализует оптимизированную диаграмму направленности антенны с использованием запатентованной печатной платы на основе LTCC, способной обеспечить высокоточную связь в диапазоне 60 ГГц. Помимо связи через автономный модуль, имеется возможность, объединив несколько модулей, увеличить дальность связи и соединить внешние базовые станции, находящиеся на расстоянии нескольких сотен метров друг от друга, чтобы создать многогигабитную сеть.
- Высокая термостойкость и низкое влагопоглощение печатной платы на основе LTCC обеспечивают превосходную эксплуатационную надежность и позволяют использовать модуль даже в наружных базовых станциях.
- Высокоэффективная работа антенного модуля, обусловленная уникальными характеристиками материала LTCC, обеспечивает низкие потери в линии передачи между микросхемой и антенной.
- Модульная конструкция, объединяющая радиочастотную микросхему и антенну, устраняет необходимость в разработке новых радиочастотных схем миллиметрового диапазона, что позволит сократить трудозатраты на создание нового сетевого оборудования.

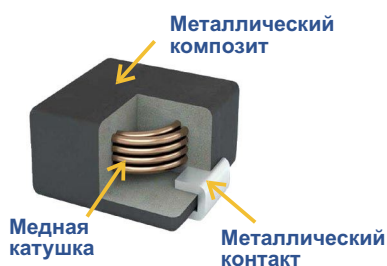
## KEMET выпускает новые сильноточные SMD дроссели серии METCOM для высокоэффективных приложений

Устройства с сердечниками из порошкового металлокомпозита позволяют создавать более эффективные решения для источников питания

Корпорация KEMET запустила в производство мощные металлокомпозитные SMD дроссели. Устройства новой серии METCOM идеально подходят для разработки более эффективных DC/DC импульсных источников питания, а также для других силовых приложений, включая фильтры электромагнитных помех.



Металлокомпозитный сердечник отличается высоким током насыщения, позволяющим дросселям поддерживать работу при больших пульсациях тока, типичных для современных источников питания. Высокая магнитная проницаемость обеспечивает низкие значения сопротивления постоянному току (DCR), что значительно снижает саморазогрев при работе с большими токами, повышая КПД системы и упрощая тепловые расчеты.



Конструкция дросселя серии METCOM.

Дроссели METCOM имеют экранированную конструкцию, удерживающую магнитный поток внутри корпуса прибора, что повышает эффективность их работы. Это также снижает уровень электромагнитных излучений и влияние на окружающие цепи, значительно упрощая задачу получения разрешений от органов сертификации.

Новые дроссели разработаны специально для использования в DC/DC преобразователях, используемых в различных коммерческих и бытовых приложениях, включая ноутбуки, планшеты, серверы и телевизоры высокой четкости. В настоящее время происходит процедура сертификации дросселей на соответствие требованиям стандарта AEC-Q200, что откроет им выход на рынок автомобильных приложений.

В общей сложности серия METCOM насчитывает 102 устройства, охватывающих диапазон индуктивностей от 0.10 мкГн до 47.00 мкГн, среди которых есть приборы с DCR всего 1.5 мОм. Дроссели могут поддерживать токи до 35.4 А и сохраняют свои характеристики в диапазоне рабочих температур от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+155^{\circ}\text{C}$ . При минимальных размерах 5.3 мм × 5.00 мм и высоте 2 мм серия METCOM идеально подходит для современных систем питания с высокой плотностью компоновки.



## Diodes выпустила адаптивный подавитель пульсаций тока светодиодов для профессиональных источников света

Компания Diodes объявила о доступности микросхемы AL5822 – подавителя пульсаций тока светодиодов, обеспечивающего высокий уровень подавления пульсаций при сохранении высокого коэффициента мощ-

ности в приложениях коммерческого и промышленного освещения.

В настоящее время на многих рынках является обязательным соблюдение нормативных требований по подавлению низкочастот-





ных пульсаций (от 100 Гц до 120 Гц) в устройствах светодиодного освещения, что регламентируется, например, Главой 24 стандарта Калифорнийской энергетической комиссии. AL5822 обеспечивает высокий уровень подавления пульсаций тока в мощных однокаскадных светодиодных светильниках, даже в тех случаях, когда для управления уровнем освещенности используются симистор или ШИМ. Это гарантирует отсутствие признаков мерцания или стробоскопического эффекта во всем диапазоне диммирования при сохранении высокого коэффициента мощности.

Микросхема AL5822 разрабатывалась и испытывалась в соответствии со строительными нормами и правилами, изложенными в

Главе 24, ограничивающими предельный уровень мерцания значением 30%. Результаты показали, что AL5822 подавляет пульсации более чем на 97%, достигая при этом коэффициента мощности свыше 0.9.

Контролируя ток, проходящий через светодиоды, AL5822 компенсирует пульсации путем подстройки управляющего напряжения внешнего MOSFET. Эта петля регулирования поддерживает работу полевого MOSFET в области насыщения, обеспечивая постоянный ток светодиодов.

Благодаря поддержке различных схем входных каскадов, AL5822 может работать со многими типами драйверов, такими, например, как однокаскадный повышающий/понижающий корректор коэффициента мощности AL1665, также выпускаемый Diodes Incorporated. Интегрированные функции AL5822 устраняют необходимость в дискретных магнитных компонентах, сводя к минимуму общий перечень материалов.

AL5822 работает в диапазоне входных напряжений от 24 В AC до 305 В AC. В перечень функций безопасности входят защита от короткого замыкания, перегрева и перегрузки по току.

AL5822 поставляется в корпусе SOT26.

## **Toshiba начала производство компактной высокоэффективной микросхемы драйвера щеточных двигателей в корпусе HSOP8 с популярным расположением выводов**

*Малопотребляющая микросхема одноканального H-моста с популярным расположением выводов и широким диапазоном рабочих напряжений*

Toshiba Electronics Europe расширила линейку микросхем драйверов щеточных двигателей постоянного тока высокоэффективным одноканальным H-мостом с максимальными характеристиками допустимой нагрузки 50 В/3.5 А и самым низким в отрасли током покоя. Микросхема TB67H450FNG, выпускаемая в компактном корпусе HSOP8 для поверхностного монтажа с популярным расположением выводов идеально подходит для использования в приводах новых щеточных электродвигателей постоянного тока или в качестве прямой замены для улучшения и модернизации существующих приложений.

Устройство, изготавливаемое с использованием технологического процесса BiCD ком-



пани Toshiba, может управлять щеточными двигателями с напряжениями питания от 4.5 В до 44 В. В итоге оно может использоваться в широком спектре промышленного и коммерческого оборудования, включая сре-

дства офисной автоматизации и банковские терминалы, бытовые приборы, робот-пылесосы и другую потребительскую технику. Низкий ток покоя, равный всего 1 мкА, был достигнут благодаря разработке новой схемы питания, управляющей регулятором  $V_{CC}$  в режиме ожидания. Это способствует экономии энергии и увеличивает срок службы батарей во многих современных приложениях с автономным питанием, таких как небольшие бытовые роботы и электронные замки, а также в устройствах, получающих питание от источников 5 В интерфейса USB.

TB67H450FNG, рассчитанный на четыре режима управления щеточными двигателями постоянного тока (вперед, назад, торможение и останов), через встроенный MOSFET с низким сопротивлением (0.6 Ом)

может отдавать ток до 3.5 А при напряжении до 50 В. Высокоинтегрированная микросхема драйвера двигателей содержит одноканальный H-мост и ряд цепей обеспечения функций безопасности, таких как отключение при перегреве кристалла, обнаружение перегрузки по току и блокировка при пониженном напряжении. Работа внутренних цепей поддерживается встроенным регулятором напряжения.

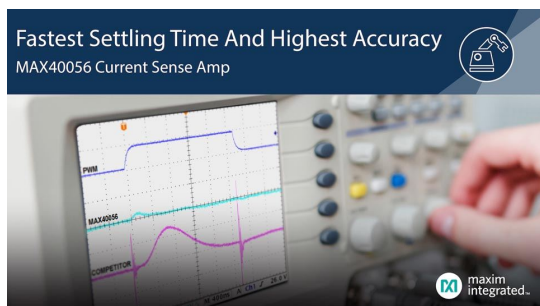
Новая микросхема, имеющая размеры всего 4.9 мм × 6.0 мм, занимает мало места на плате и обладает отличными тепловыми характеристиками благодаря дополнительному выводу, образованному вскрытой подложкой кристалла.

Серийные поставки TB67H450FNG уже начались.

## Maxim выпускает на рынок прецизионный двунаправленный токоизмерительный усилитель с подавлением сигнала ШИМ

*MAX40056 обеспечивает точность 0.3%, прямое измерение в полной шкале токов обмоток и в 4 раза более высокую скорость, чем конкурирующие решения*

Теперь разработчики могут повысить КПД и снизить вибрацию двигателя, воспользовавшись только что выпущенным Maxim двунаправленным токоизмерительным усилителем MAX40056 с запатентованной технологией подавления широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Высокое быстродействие и широкая полоса пропускания усилителя укрепляют лидерство Maxim в области производства прецизионных высоковольтных токоизмерительных усилителей для приложений управления двигателями.



Создание системы управления двигателем требует точного измерения токов обмоток. Обычно используемый подход заключается в том, чтобы получать информацию о

токах обмоток, выполняя измерения в мостовой схеме относительно земли или шины питания. Метод прямого измерения токов обмоток проще и точнее, но его реализация затруднена из-за высокого размаха синфазного напряжения сигнала ШИМ. Принятие такого подхода сдерживалось плохим подавлением ШИМ и невысокой скоростью установления для существующих решений.

MAX40056 подавляет сигналы ШИМ со скоростями нарастания до 500 В/мкс и имеет время установления не более 500 нс, обеспечивая измерение токов обмоток в полной шкале с точностью 0.3%. Запатентованная схема подавления ШИМ с временем установления, в 4 раза меньшем, чем решения конкурентов, позволяет разработчикам систем управления двигателями без ущерба для точности измерений увеличить частоту переключения или уменьшить минимальный коэффициент заполнения. Повышенная частота ШИМ сглаживает проходящие токи и уменьшает пульсации вращающего момента, увеличивая КПД работы двигателя. Точное измерение тока обмоток при низком коэффициенте заполнения помогает снизить или практически исключить вибрации при работе

мотора на медленной скорости. MAX40056 рассчитан на широкий диапазон синфазных напряжений от  $-0.1$  В до  $+65$  В с защитой в диапазоне от  $-5$  В до  $70$  В, дающей гарантию, что индуктивные выбросы не смогут повредить микросхему. Благодаря возможности двунаправленного измерения, он идеально подходит для использования в приводах двигателей постоянного тока, базовых станциях, центрах обработки данных, системах управления батарейными блоками и для многих других приложений, требующих точных измерений тока в зашумленной среде.

## Основные преимущества

- **Наименьшее время установки:**

Запатентованная технология подавляет синфазное напряжение сигналов ШИМ и обеспечивает самое быстрое установление в течение  $500$  нс.

- **Наивысшая точность:**

Точное прямое измерение тока обмотки двигателя при частоте ШИМ, большей в  $4$  раза, и в  $4$  раза меньшем коэффициенте

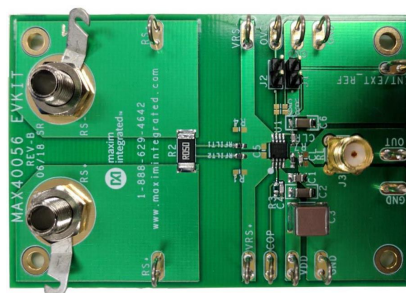
заполнения, чем у конкурирующих предложений.

- **Улучшенные характеристики:**

Повышенный КПД двигателя и сниженный уровень вибраций.

## Доступность и цены

MAX40056 можно купить на веб-сайте Maxim или у официальных дистрибьюторов компании. В партиях из  $1000$  приборов одна микросхема стоит  $\$1.19$ . За  $\$69$  можно приобрести оценочный набор MAX40056EVKIT.



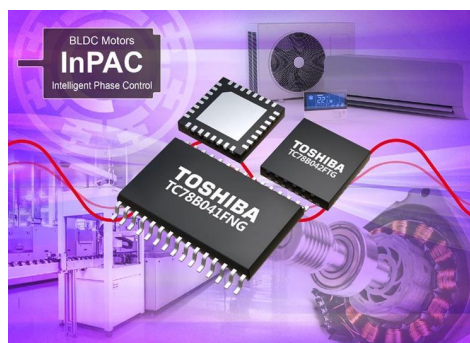
Оценочный набор MAX40056EVKIT.

## Toshiba выпустила микросхемы контроллеров трехфазных бесщеточных двигателей с синусоидальным управлением

*Новые контроллеры без регулировки фазы обеспечивают высокий КПД в широком диапазоне скоростей вращения*

Toshiba Electronics Europe выпустила две новые микросхемы контроллеров трехфазных бесщеточных двигателей, основанные на оригинальной запатентованной технологии автоматической регулировки фазы (InPAC). Эта функция исключает необходимость регулировки фазы и обеспечивает высокие уровни эффективности в широком диапазоне скоростей вращения двигателя. В результате новые устройства могут использоваться с драйверами двигателей, работающими при различных значениях напряжений и токов, а также могут использоваться в сочетании с выходными каскадами на основе интеллектуальных силовых модулей. Новые контроллеры TC78B041FNG и TC78B042FTG предназначены для использования в домашних бытовых приборах, таких как кондиционеры и очистители воздуха, а также в промышленном оборудовании.

Производители бытовой техники и промышленного оборудования все чаще исполь-



зуют инверторы для управления двигателями вентиляторов, чтобы удовлетворить строгие требования рынка к повышенной энергоэффективности и более низкому уровню шума.

Чтобы получить высокий уровень КПД в обычных системах, необходимо регулировать фазы напряжения и тока двигателя для каждого отдельного вентиляторного мотора. Для достижения высокого КПД в широком диапазоне скоростей вращения – от почти нуля оборотов в минуту при запуске до высо-



ких скоростей в несколько тысяч оборотов в минуту – требуется большое количество компонентов для регулировки фазы. Это также требует использования микроконтроллерной системы управления – сложной и требующей много времени на разработку.

С появлением InPAC, новой технологии управления Toshiba, которая выравнивает фазы сигнала датчиков Холла и ток двигателя, новые устройства в широком диапазоне скоростей вращения управляют двигателями с КПД, эквивалентным КПД системы управления, основанной на микроконтроллере. InPAC обеспечивает высокий КПД привода двигателя вентилятора с управлением синусоидальным током, снижающим уровень акустических шумов.

Кроме того, поскольку регулировка фазы выполняется автоматически в соответствии с

простыми настройками, процесс разработки облегчается за счет исключения длительного времени разработки программ и настройки микроконтроллера.

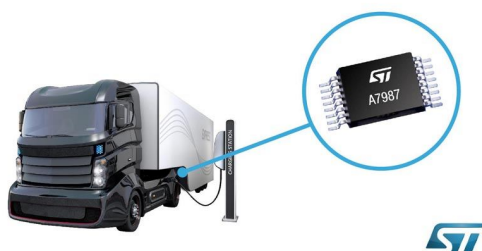
Новые контроллеры содержат переключатель обнаружения направления движения и схему обнаружения блокировки двигателя. Количество импульсов в сигнале вращения может выбираться. TC78B041FNG выпускается в корпусе SSOP30 с размерами 7.6 мм × 10.2 мм × 1.6 мм и имеет вход обнаружения ошибок с положительным активным уровнем. TC78B042FTG предлагается в корпусе VQFN32 размером 5 мм × 5 мм × 1 мм и имеет два входа обнаружения ошибок с положительным и отрицательным активными уровнями.

Оба устройства запущены в серийное производство.

## Новый импульсный регулятор STMicroelectronics повысит надежность автомобильных приложений

Импульсный регулятор A7987, разработанный компанией STMicroelectronics для устройств автомобильной электроники, имеет широкий диапазон входных напряжений, позволяющий использовать его в грузовых автомобилях и автобусах, а регулируемое выходное напряжение обеспечивает гибкость и стабильность характеристик, необходимые для многочисленных шин питания в таких автомобильных приложениях, как информационно-развлекательные и телематические системы.

Automotive step-down converter  
Flexibility and reliability in harsh environments



Максимальное входное напряжение 61 В позволяет A7987 работать в обычных или гибридных и электрических транспортных средствах с напряжением аккумуляторной батареи 24 В, обеспечивая стабилизацию выходного напряжения даже при помехах, возника-

ющих при сбросе нагрузки. Выходное напряжение преобразователя регулируется от 0.8 В до входного напряжения. Устройство может отдавать ток до 3 А в самые разные нагрузки – от логических схем до систем освещения.

Порог ограничения тока и частота переключения до 1.5 МГц устанавливаются внешними резисторами, подключаемыми к шине земли, позволяя разработчикам оптимизировать размеры выходного дросселя и создавать компактные модули питания. Поимпульсное измерение тока с цифровым прогрессирующим изменением частоты при коротких замыканиях минимизирует нагрузку на силовые компоненты, повышая их надежность. Для уменьшения зависимости от внешнего вмешательства в устройство встроена цепь тепловой защиты с отключением и автоматическим восстановлением.

В A7987 встроены мощный N-канальный MOSFET с низким сопротивлением. При легких нагрузках пропуск импульсов поддерживает стабилизацию выходного напряжения, а вход напряжения смещения со встроенным переключателем позволяет питать внутренние аналоговые цепи от внешнего источника для оптимизации КПД системы.

Тактовый вход дает возможность организовать совместную работу на общую нагрузку до пяти регуляторов, синхронизируя их

смещенными по фазе импульсами, чтобы избежать шумовых эффектов и уменьшить среднеквадратичное значение тока, протекающего во входном конденсаторе. Для управления последовательностью включения питания используются вход разрешения и индикатор «Питание в норме» с регулируемой задержкой. Кроме того, для ограничения пускового тока предусмотрена настраиваемая функция мягкого запуска.

Импульсный регулятор A7987, сертифицированный на соответствие требованиям автомобильного стандарта AEC-Q100, уже выпускается серийно в корпусе HTSSOP16 с открытой подложкой кристалла, имеющем размеры 5 мм × 6.4 мм. В лотах из 1000 приборов одна микросхема стоит \$2.00.

Для ускорения внедрения новых проектов на основе A7987 STMicroelectronics выпустила также оценочную плату STEVAL-ISA207V1, которую можно приобрести на веб-сайте ST или у официальных дистрибьюторов компании.



Оценочная плата STEVAL-ISA207V1.

## АКМ разработала высококачественный 4-канальный АЦП для многомикрофонной записи

Asahi Kasei Microdevices (АКМ) разработала малопотребляющий 4-канальный 32-битный АЦП с интегрированными маломощными микрофонными усилителями. Он содержит блоки цифровой обработки сигналов, предназначенные, в частности, для функций фильтрации и регулировки уровня, необходимых для входа цифрового микрофона.



Массовое производство АК5704 планируется развернуть в сентябре 2019 года.

### Основные особенности

- **Превосходное качество записи с низким уровнем шума и низким энергопотреблением:**

32-битный АЦП АК5704 обеспечивает динамический диапазон 105 дБ и суммарный коэффициент нелинейных искажений –90 дБ, что позволяет использовать все

преимущества характеристик высококачественных микрофонов. Он идеально подходит для записи звука высокого разрешения, а также для приложений, требующих первоклассного отклика в дальней зоне на расстоянии более 5 м. Кроме того, АК5704 отличается исключительной энергоэффективностью, потребляя в активном режиме всего 17 мВт.

- **Детектор речевой активности дополнительно сокращает расход энергии:**

В микросхему АК5704 встроен новый детектор речевой активности. Его использование для запуска АЦП может значительно снизить энергопотребление системы, поскольку остальная часть устройства может быть отключена, в то время как детектор в ожидании сигнала пробуждения потребляет всего 2.7 мВт.

- **Поддержка нескольких параллельных подключений:**

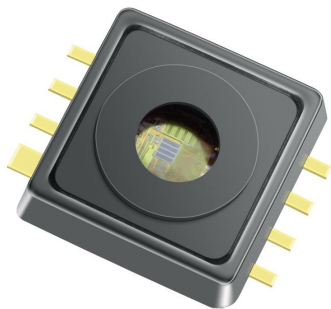
Несколько микросхем может быть включено параллельно для создания систем, поддерживающих до 16 микрофонов.

- **Поддержка записи ультразвука:**

При частоте выборки до 192 кГц АК5704 способен работать с широкополосным микрофоном для записи сигналов ультразвукового диапазона.

## Infineon начала производство высокоточных цифровых датчиков Turbo MAP

На торгово-промышленной выставке Sensor+Test компания Infineon Technologies представила новый датчик абсолютного давления KP276, дополнивший семейство XENSIV измерителей различных физических величин. Он предназначен для таких приложений, как измерение давления воздуха в коллекторах атмосферных (manifold air pressure – MAP) или турбированных (Turbo MAP) дизельных и бензиновых двигателей, а также в системах рециркуляции отработавших газов. Цифровой датчик покрывает диапазон давлений от 10 кПа до 400 кПа, достигает очень высокой точности и обеспечивает большую скорость измерения и связи.



MAP является важнейшим параметром для расчета соотношения компонентов топливо-воздушной смеси двигателя внутреннего сгорания. Точное измерение помогает повысить эффективность сгорания и, следовательно, уменьшить вредные выбросы. Кроме того, данные о давлении в коллекторе могут использоваться в расчетах для диагностики утечек и неисправностей клапана

системы рециркуляции отработавших газов.

Приборы XENSIV KP276, погрешность которых не превышает 0.77% (от полной шкалы) в течение всего срока службы, являются самыми точными цифровыми датчиками Turbo MAP в портфеле Infineon. Планируется к выпуску еще более точная версия прибора (0.5% от полной шкалы). Более того, эта версия будет аттестована на соответствие стандарту ISO26262, предоставляя все результаты исследований и документацию, необходимые для критически важных приложений.

В приборы XENSIV KP276 интегрированы цепи обработки сигнала внешнего NTC датчика температуры. Это позволяет с помощью одного цифрового интерфейса получать данные как о давлении, так и температуре. Устройства имеют интерфейс SENT с коротким кадром длительностью 846 мкс и отличаются малым временем установления первых показаний температуры с типовым значением 10 мс. Это сокращает время измерений и передачи данных по сравнению с предыдущими продуктами Infineon.

Датчики поставляются в прочном корпусе SMD-8 и подходят для жестких условий в приложениях управления двигателем. Приборы, рассчитанные на эксплуатацию в диапазоне температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $150^{\circ}\text{C}$ , защищены от таких агрессивных сред, как йод и конденсат выхлопных газов.

### Доступность

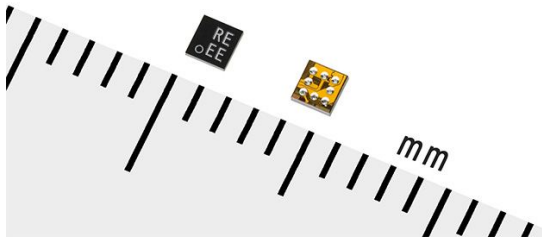
Датчики XENSIV KP276 выпускаются серийно.

## Ricoh Electronic выпускает понижающие DC/DC преобразователи с ультранизкими выходными напряжениями

Компания Ricoh Electronic Devices выпустила понижающие DC/DC преобразователи серий RP516 и RP517 с ультранизкими выходными напряжениями (от 0.3 В до 1.2 В) и токами потребления (0.3 мкА тип.). Новые приборы предназначены для устройств Интернета вещей (IoT).

По мере расширения рынка IoT устройствами с датчиками, микроконтроллерами, коммуникационными микросхемами и т. д. увеличивается потребность в преобразователях с особо низким выходным напряжением, что необходимо для продления времени работы батарей. RP516/RP517 предоставля-





ют возможность выбора выходных напряжений из диапазона 0.3 В ... 1.2 В с шагом 0.1 В.

Новые приборы RP516/RP517 помогут потребителям в создании устройств IoT с низкими рабочими напряжениями и увеличенным временем работы. Максимальные выходные токи преобразователей RP516 и RP517 равны 100 мА и 300 мА, соответственно.

Новые микросхемы выпускаются в корпусах WLCSP-8-P1, обеспечивающих высокую плотность монтажа. Для удовлетворения более широкого спектра требований дополнительно ведется разработка версий в корпусах DFN(PLP)2527-10 и SOT-89-5, образцы которых появятся летом-осенью 2019 года.

### Основные особенности микросхем RP516/ RP517

RP516 и RP517 – это DC/DC преобразователи с очень низким выходным напряжением и сверхнизким током покоя, которые прекрасно подходят для устройств IoT.

- **Ультранизкие выходные напряжения:**

Выходные напряжения преобразователей выбираются из диапазона 0.3 В ... 1.2 В с шагом 0.1 В.

- **Ультранизкий ток потребления:**

Ультранизкий собственный ток потребления с типовым значением 0.3 мкА увеличивает продолжительность работы устройств IoT.

- **Широкий диапазон входных напряжений:**

Широкий диапазон входных напряжений от 1.8 В до 5.5 В позволяет использовать преобразователи RP516/RP517 в системах с батареями различных типов, включая литиевые батареи монетного типа, аккумуляторы следующих поколений, ионисторы и т.д. Кроме того, равное 1.8 В минимальное входное напряжение, увеличивает время работы батареи.

- **Миниатюрные корпуса:**

Для устройств с особо жесткими габаритными требованиями предлагается версия преобразователя в корпусе WLCSP-8-P1 с размерами 1.45 × 1.48 × 0.4 мм. Кроме того, разрабатываются варианты приборов в корпусах DFN(PLP)2527-10 (2.50 × 2.70 × 0.6 мм) и SOT-89-5. Новые микросхемы смогут использоваться в широкой сфере приложений.

## Новые высокотемпературные варисторы Vishay выдерживают импульсные токи до 13 кА

*Устройства обеспечивают защиту потребительских устройств и промышленного оборудования от высоких и импульсных напряжений*

Vishay Intertechnology представила новую серию VDR металл-оксидных варисторов, сертифицированных для работы при температурах до +125 °С в соответствии с требованиями редакции 4 стандарта UL 1449 и стандарта VDE/IEC 61051-1/2. Компоненты, разработанные подразделением Vishay VCS Components для защиты потребительского и промышленного оборудования от высоких и импульсных напряжений, выдерживают на 30% более высокий импульсный ток, чем устройства предыдущего поколения.

Анонсированные устройства, имеющие стандартный ряд размеров 7 мм, 10 мм, 14 мм и 20 мм, сделаны на основе диска, изготовленного из высокочистого оксида цинка с



двумя жесткими медными или стальными медненными выводами, покрытыми матовым оловом. Высокая рабочая температура



варисторов достигнута благодаря огнестойкому силиконовому лаковому покрытию, сертифицированному на соответствие требованиям стандарта UL94-V0 и обеспечивающему электрическую, механическую и климатическую защиту.

В серии VDRUS можно выбрать приборы с импульсным током от 1.8 кА до 13 кА, максимально допустимыми напряжениями от 115 В АС до 680 В АС, максимальной поглощаемой

энергией от 19 Дж до 720 Дж и прямыми или изогнутыми выводами. Варисторы оптимизированы для использования в регуляторах мощности и входных фильтрах бытовых приборов, таких как электроплиты и стиральные машины, а также для промышленных приложений, включая контроллеры двигателей, АС/DC преобразователи и автоматические выключатели.

Новые устройства, не содержащие галогенов и отвечающие требованиям директивы RoHS, пригодны для автоматической установки на плату и совместимы с процессами пайки волной и инфракрасного оплавления припоя.

Доступны для приобретения как единичные образцы, так и промышленные партии варисторов серии VDRUS. Срок поставки приборов составляет от шести до восьми недель.

## АКМ выпускает прецизионный трехосевой магнитный датчик мирового класса

Asahi Kasei Microdevices (АКМ) начала массовое производство микросхемы трехосевого магнитного датчика общего назначения АК09940 с цифровым выходом. Новый прибор, основанный на эффекте туннельного магнитосопротивления, отличаются ультранизкие шумы мирового уровня и ультранизкое потребление мощности.

Датчик, основанный на предыдущих решениях, использованных в трехосевом электронном компасе, может повысить точность магнитных измерений для отслеживания положения в устройствах дополненной, виртуальной и смешанной реальности. АК09940 идеально подходит для магнитно-порошковой дефектоскопии и обнаружения металлических примесей путем трехосевых магнитных измерений, позволяющих с высокой точностью обнаруживать небольшие изменения и искажения в магнитных полях.

### Особенности микросхемы

- **Ультранизкие шумы мирового класса:** Благодаря ультранизким шумам (40 нТл с.к.з.), АК09940 позволяет измерять по осям X, Y и Z очень слабые магнитные сигналы, которые обычно заглушаются шумом. Магнитное отслеживание положения, используемое, например, в контроллерах



устройств дополненной и виртуальной реальности, имеет то преимущество, что измерения можно выполнять даже в тех случаях, когда датчик закрыт другими объектами. Однако из-за шумов сигнала на приемной стороне обычно не удается достичь характеристик, обеспечивающих достаточные значения диапазона обнаружения, точности определения положения и скорости отклика. Проблема решается с помощью ультрамалошумящего трехосевого магнитного датчика.

- **Ультранизкое потребление тока:** Ультранизкое потребление тока 40 нА при частоте считывания 100 Гц делает датчик идеальным для устройств, работающих от батарей небольшой емкости.
- **Миниатюрный корпус:** АК09940 выпускается в компактном корпусе LGA размером 1.6 × 1.6 мм.

## Основные технические характеристики

- Аналоговое напряжение питания (VDD): 1.7 В ... 1.98 В;
- Цифровое напряжение питания: 1.65 В ... VDD;
- Интерфейсы: I<sup>2</sup>C и 4-проводный SPI;
- Потребляемый ток при частоте опроса 100 Гц, в зависимости от установленного режима: 30, 60, 100, 200 мкА (типичные значения);
- Шумы, в зависимости от установленного режима: 70, 60, 50, 40 нТл (типичные значения);
- Чувствительность: 10 нТл/МЗР (младший значащий разряд);

- Диапазон измерений: ±1200 мкТл;
- Разрядность выходного кода: 18 бит;
- Размеры корпуса 1.6 × 1.6 × 0.6 мм.



Оценочный набор ACSP09940.

## Raspberry Pi 4: за \$35 производительность на уровне персонального компьютера

Начались продажи одноплатного компьютера Raspberry Pi 4. Новая плата, подвергнутая комплексному обновлению, затрагивающему практически каждый элемент платформы, стоит \$35. Для большинства пользователей Raspberry Pi 4 предоставляет уровень характеристик, сравнимый с характеристиками персонального компьютера, сохраняя при этом возможности подключения и модульности классической линейки Raspberry Pi.



Впервые предлагается выбор Raspberry Pi с различными объемами ОЗУ: 1 ГБ за \$35, 2 ГБ за \$45 и 4 ГБ за \$55. Последний вариант Raspberry Pi разрабатывался так, чтобы сохранить совместимость с существующими платами расширения (Hardware Attached on Top – HAT) и другими аксессуарами.

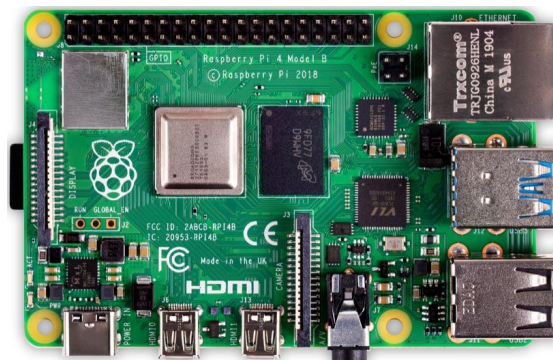
Raspberry Pi 4 перешел с питания через разъем USB micro-B на разъем USB-C. Это

обеспечило поддержку дополнительных 500 мА тока, предоставляя в распоряжение пользователей суммарно 1.2 А для подключенных устройств USB, даже при тяжелой загрузке центрального процессора.

Для размещения двух выходов на дисплеи в пределах существующей площади платы HDMI разъем типа A (полноразмерный) был заменен парой HDMI разъемов типа D (микро).

MagJack гигабитного Ethernet из правого нижнего угла платы переместился в верхний правый угол, значительно упростив разводку печатной платы. Четырехконтактный разъем Power-over-Ethernet (PoE) не менял своей позиции, поэтому Raspberry Pi 4 осталась совместимой с существующими PoE HAT.

Контроллер Ethernet, находящийся на основной СМК, подключен к физической среде через внешний приемопередатчик компании Broadcom посредством специального





интерфейса RGMII, обеспечивающего полную пропускную способность интерфейса. Доступ к USB предоставляется через внешний контроллер VLI, подключенный одной линией PCI Express Gen 2 и обеспечивающий общую пропускную способность 4 Гбит/с на четыре порта.

В целях упрощения конструкции корпуса все три разъема на правой стороне платы выступают на один дополнительный миллиметр. В остальном расположение разъемов и монтажных отверстий осталось прежним, что обеспечивает совместимость с существующими HAT и другими аксессуарами.

## Новая операционная система Raspbian

Raspberry Pi 4 поставляется с полностью переработанной операционной системой, основанной на готовящемся релизе Debian 10 Buster. Это привело к многочисленным незримым техническим улучшениям, наряду со значительно модернизированным пользовательским интерфейсом и обновленными приложениями, включая веб-браузер Chromium 74.

Заметным шагом вперед является то, что устаревший стек графических драйверов, используемый в предыдущих моделях, в Raspberry Pi 4 был удален. Вместо этого в Raspberry Pi 4 используется драйвер Mesa «V3D», разработанный Эриком Анхольтом (Eric Anholt) из Broadcom на протяжении последних пяти лет. Это дает множество преимуществ, в том числе ускорение просмотра веб-страниц в OpenGL и более удобную организацию рабочего стола, а также возможность запуска 3D-приложений в X Window System. Кроме того, это позволило исключить в платформе примерно половину строк закрытого исходного кода.

## Источник питания Raspberry Pi 4

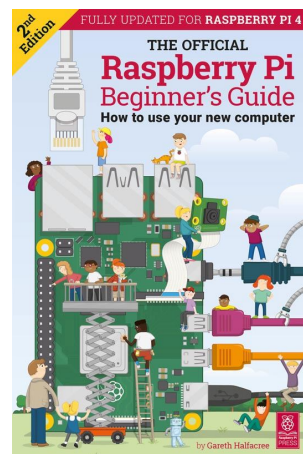
По словам разработчиков Raspberry Pi 4, найти хорошие и недорогие источники питания USB-C (и кабели USB-C) на удивление сложно. Поэтому совместно с Ktes они разработали подходящий источник питания 5 В/3 А,



который стоит \$8 и доступен с различными форматами штекеров: для Великобритании (тип G), Северной Америки (тип A) и Австралии (тип I).

Если же вы захотите использовать официальный источник питания Raspberry Pi 3, реселлеры предложат вам за \$1 приобрести адаптер для перехода от USB micro-B на USB-C. Толстые провода старого официального источника и хорошая реакция на скачки нагрузки делают такое решение весьма конкурентоспособным, если только вам не нужны полные 3 ампера.

## Переработанное Руководство для начинающих



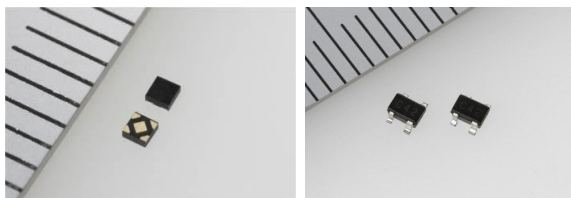
В конце прошлого года Raspberry Pi опубликовала пресс-релиз о выпуске Официального руководства по Raspberry Pi для начинающих. Гарет Хальфакри (Gareth Halfacree) написал обновленную версию, охватывающую новые функции Raspberry Pi 4 и новую операционную систему.

## Торех представила серию LDO регуляторов со сверхнизким потреблением тока

Torex Semiconductor представила новую серию LDO регуляторов XC6237 со сверхнизким потреблением тока, выпускаемых в миниатюрных и тонких корпусах, подходя-

щих для устройств IoT и носимой электроники.

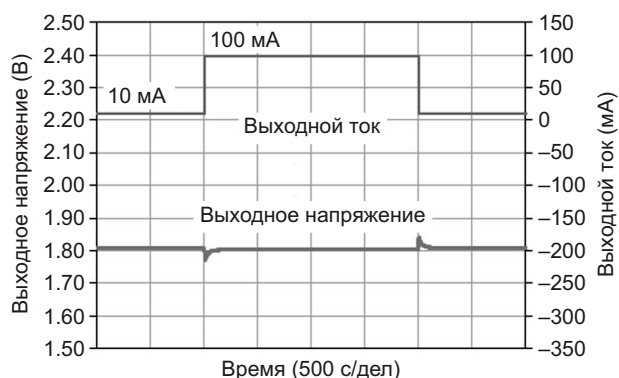
Регуляторы серии XC6237 изготавливаются по технологии КМОП, позволяющей дос-



тичь высокого быстродействия, низкого потребления тока, высокой точности и отличного подавления пульсаций.

Выходное напряжение фиксировано внутренним делителем и может находиться в диапазоне от 1.2 В до 5.0 В с шагом промежуточных значений 0.05 В. Микросхема имеет функцию Экологичность (Green Operation – GO), которая обеспечивает как высокое быстродействие, так и низкое потребление тока и, в зависимости от величины нагрузки, производит автоматическое переключение между высокоскоростным режимом (HS) и режимом энергосбережения (PS).

При легких нагрузках в режиме PS достигается высокий КПД с низким потреблением тока, а при больших нагрузках включается высокоскоростной режим HS. Это идеально



Типовые характеристики регуляторов.  
(XC6237x181:  $V_{IN} = 2.8 В$ ,  $C_{IN} = C_L = 1.0 мкФ$ ).

подходит для приложений, требующих как низкого потребления тока, так и высокой скорости работы.

Регуляторы, предлагаемые в миниатюрных тонких корпусах USPQ-4B05 или в корпусах общего назначения SSOT-24, пригодны для множества различных приложений. На выходе регуляторов могут использоваться керамические конденсаторы с низкими значениями эквивалентного последовательного сопротивления.

# настоящее немецкое качество

**Testboy**  
GmbH, Germany

контрольно-  
измерительное  
оборудование

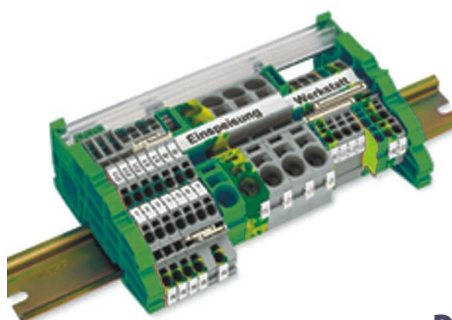


»»» **JOKARI**<sup>®</sup>  
original

инструмент для  
разделки кабеля  
и снятия изоляции



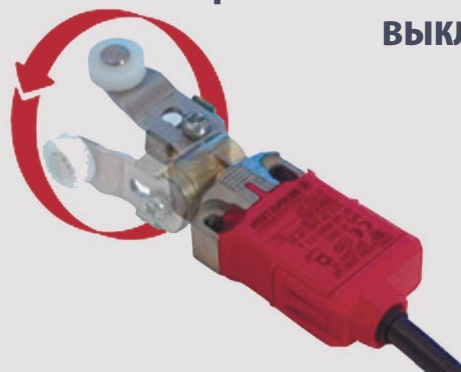
**WAGO**<sup>®</sup>  
INNOVATIVE CONNECTIONS



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





# Как рассчитать импульсный преобразователь электрической энергии?

## Часть 2

Продолжение. Начало в номере 05-2019

Александр Русу, Одесса, Украина

### Выбор режима работы магнитопровода

В предыдущей части я специально не выбрал материал магнитопровода, поскольку для этого, к сожалению, пока недостаточно данных. Причина проста – если сейчас ограничиться только одной конкретной маркой феррита или альсифера, то потом может оказаться, что у поставщиков не будет в наличии нужного типоразмера, более того – его вообще может не существовать в природе, и расчет придется начать почти сначала. Сейчас нужно хотя бы приблизительно оценить размеры магнитопровода, и уже потом, ориентируясь на эти цифры, анализировать каталоги поставщиков.

Ранее было определено, что при максимальной выходной мощности дроссель L1 в каждом цикле должен сохранить, а затем отдать 0.2 мДж энергии. Если это будет происходить 100,000 раз в секунду, тогда преобразователь обеспечит свои нагрузки электрической энергией со скоростью 24 Вт, из которых 4 Вт на выход первого канала будут поступать без каких-либо преобразований.

В [4] была получена формула, связывающая количество преобразуемой дросселем

энергии  $W_{\text{ИМП}}$  с параметрами его магнитного потока:

$$W_{\text{ИМП}} = \frac{1}{A_L} \cdot \overline{\Phi}_{\text{CP1}}; \quad (8)$$

где

$\Delta \Phi$  и  $\overline{\Phi}_{\text{CP1}}$  – соответственно, изменение и среднее значение магнитного потока на первом этапе преобразования (на интервале  $t_1$ , Рисунок 5);

$A_L$  – справочный параметр магнитопровода (Inductance Per Turn), используемый при расчете индуктивностей обмоток.

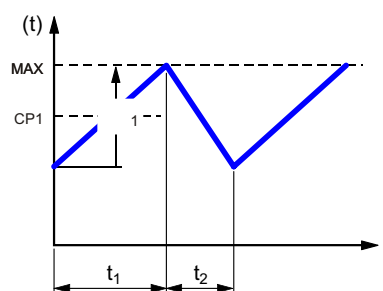


Рисунок 5. Параметры магнитного потока дросселя.

В таком виде формула (8) интересна в основном ученым-теоретикам. А вот чтобы использовать ее на практике, нужно вспомнить, что поток  $\Phi$  – это общее количество гипотетических линий магнитного поля, проходящих через поверхность с площадью  $S$ , магнитная индукция  $B$  – это всего лишь плотность магнитных линий, и для равномерного поля  $B = \Phi/S$ , а величина  $A_L$  связана с физическими параметрами магнитопровода формулой:

$$A_L = \mu_0 \mu_{\text{ЭКВ}} \frac{S}{L_{\text{СП}}}; \quad (9)$$

где

$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентная магнитная проницаемость магнитопровода, учитывающая все особенности его конструкции, в том числе и наличие немагнитных зазоров;

$L_{\text{СП}}$ ,  $S$  – соответственно, средняя длина магнитной линии и площадь поперечного сечения магнитопровода.

Для упрощения расчетов на данном этапе есть смысл также заменить абсолютные значения магнитного потока  $\Phi_1$  и  $\Phi_{\text{СП1}}$  на величины, описывающие его отдельные составляющие: переменную и постоянную. Переменную компоненту назовем размахом пульсации  $B_M$ , а постоянная составляющая  $B_{\text{СП}}$  пусть так и останется средним значением, но уже на протяжении всего цикла преобразования. Для выбранной схемы (Рисунок 1) и всех режимов работы силовой части, кроме разрывного, для которого  $B_{\text{СП}} < B_{\text{СП1}}$  из-за наличия дополнительного интервала времени, когда ток через обмотки дросселя не протекает, можно записать:

$$\begin{matrix} B_M & | & \Phi_1 & | \\ B_{\text{СП}} & | & \Phi_{\text{СП1}} & | \end{matrix} \quad (10)$$

Смысл этой подмены в следующем. На данном этапе расчета совершенно неважно, в каких направлениях перемагничивается магнитопровод. Важно, что в режиме максимальной мощности его магнитное поле должно пульсировать с размахом  $B_M$  и постоянным подмагничиванием  $B_{\text{СП}}$ , и комбинация этих значений не должна превышать некоторое значение  $B_{\text{МАХ}}$ , иначе произойдет насы-

щение магнитопровода и преобразователь может выйти из строя. А вообще, от абсолютных значений  $B_M$  и  $B_{\text{СП1}}$  зависит направление передачи энергии через силовую часть [7], и формулу (10) можно применять далеко не всегда. Но, поскольку в нашем техническом задании нигде не сказано, что преобразователь должен работать в режиме рекуперации, а проектировать дроссель так, чтобы он при максимальной мощности работал в разрывном режиме, как показано в [7], является далеко не рациональным решением, то использование допущения (10) для данной схемы вполне обосновано.

Из формулы (8) с учетом (9) и (10) получим:

$$W_{\text{ИМП}} = \frac{B_M B_{\text{СП}}}{\mu_0 \mu_{\text{ЭКВ}}} L_{\text{СП}} S; \quad (11)$$

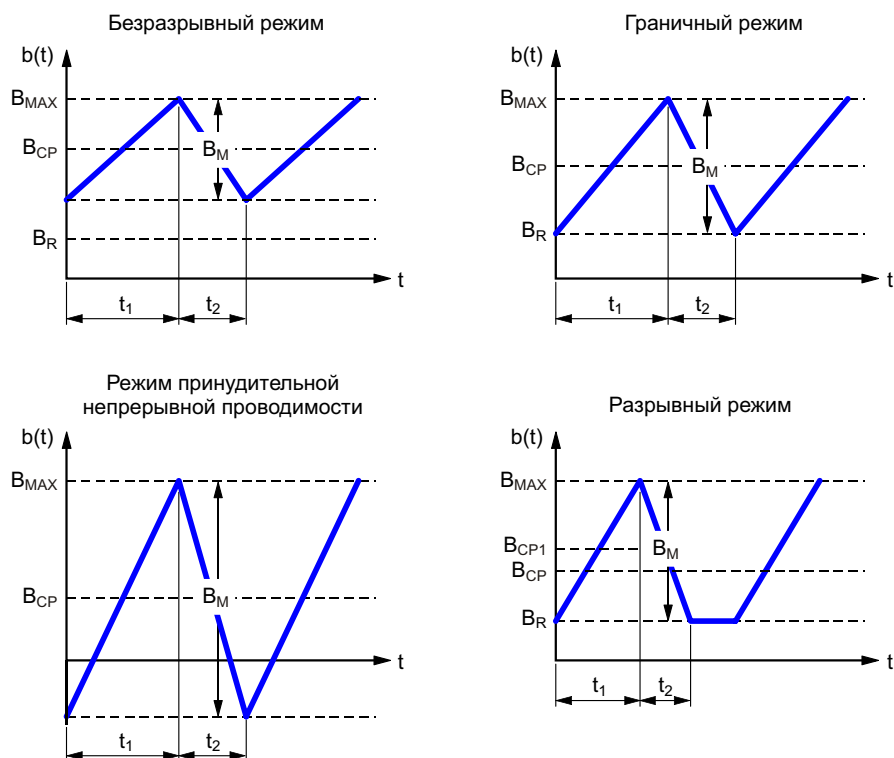
где  $B_{\text{СП}}$ ,  $B_M$  – соответственно, среднее значение и размах пульсации магнитной индукции.

Произведение  $L_{\text{СП}} S$  фактически равно эффективному объему магнитопровода  $V_{\text{ЭФ}}$  ( $V_{\text{ЭФ}} = L_{\text{СП}} S$ ), задействованного в энергетических процессах (реальный объем магнитного материала может быть больше). Именно в этом объеме и будет храниться требуемое количество энергии, в том числе с учетом «выпячивания» через немагнитные зазоры. Определим минимально необходимо  $L_{\text{СП}} S$  значение:

$$L_{\text{СП}} S = W_{\text{ИМП}} \frac{\mu_0 \mu_{\text{ЭКВ}}}{B_M B_{\text{СП}}}. \quad (12)$$

Формулу (12) можно использовать для оценки произведения  $L_{\text{СП}} S$  подавляющего большинства используемых на практике преобразователей, работающих в безразрывном и граничном режиме. Ограничением ее применения является только иной алгоритм работы силовой части, состоящий более чем из двух этапов обмена энергией [1]. Но поскольку практическая необходимость в подобных схемах пока еще не возникла, то и рассматривать этот случай пока нет смысла.

Как видно из формулы (12), объем магнитопровода дросселя напрямую зависит от произведения  $B_M B_{\text{СП}}$ , которое сейчас необходимо определить, хотя бы ориентировочно. Подробный анализ всех возможных вариантов работы магнитопроводов (Рисунок 6) выполнен в [4]. Разрывной режим и режим

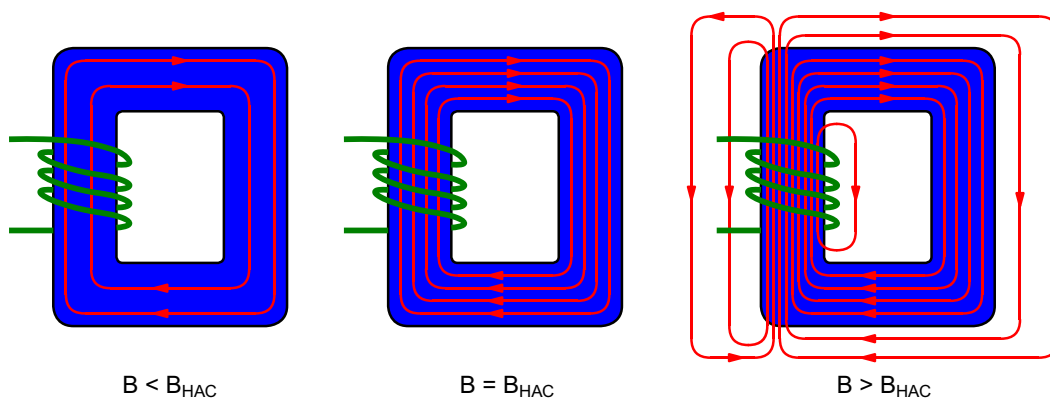


**Рисунок 6.** Магнитная индукция в дросселе при различных режимах работы.

принудительной непрерывной проводимости используются при работе с легкими нагрузками, а вот при максимальной мощности дроссель должен работать или в безразрывном или в граничном режиме (более подробно об этом читайте в [7]). Причем, в граничном режиме материал магнитопровода будет использоваться наиболее эффективно. Именно в этом режиме обеспечивается преобразование максимального количества энергии при наименьшем объеме магнитного материала, поэтому, если преобразователь должен быть миниатюрным, тогда следует

ориентироваться именно на граничный режим.

Разницу между граничным и безразрывным режимом можно лучше понять с помощью следующей аналогии. Представьте дроссель в виде ведра, в которое вместо воды «наливается» электрическая энергия. Любой магнитопровод теоретически имеет неограниченную энергетическую емкость, однако на практике его нельзя намагничивать бесконечно – рано или поздно, при достижении индукции величины  $V_{НАС}$ , произойдет его насыщение, и дальнейшее увеличение



**Рисунок 7.** Магнитное поле дросселя при разных состояниях магнитопровода.



намагничивающей силы уже не будет приводить к такому сильному увеличению плотности магнитного поля, как в слабых полях. Физически в этом режиме энергия словно «проливается» за границы магнитопровода в окружающее пространство, где, собственно говоря, и хранится (Рисунок 7). Дроссель при этом продолжает накапливать энергию, но уже далеко не так эффективно. Его значение  $\mu_{\text{ЭКВ}}$  уменьшается вплоть до единицы и толку от магнитопровода уже никакого – энергия теперь хранится в окружающем пространстве.

На первом этапе преобразования дроссель накапливает некоторое количество энергии  $W_{\text{ИМП}}$ , а затем это же количество на втором этапе передает в выходные конденсаторы, а оттуда – уже в нагрузки. При работе в граничном режиме к концу второго этапа в нем уже нет энергии, но для обеспечения требуемой мощности в нагрузках этого оказывается вполне достаточно, поэтому в граничном режиме можно выбрать дроссель с максимальной энергетической емкостью  $W_{\text{МАХ}} = W_{\text{ИМП}}$ . А в безразрывном режиме, несмотря на то, что в дроссель «наливается» то же количество энергии  $W_{\text{ИМП}}$ , некоторая ее часть постоянно остается в магнитном поле и не используется, поэтому в этом случае  $W_{\text{МАХ}} > W_{\text{ИМП}}$  и нам необходим дроссель с большей энергетической емкостью и, соответственно, с большими размерами (Рисунок 8).

Значит нужно проектировать дроссель так, чтобы он при максимальной мощности

работал в граничном режиме и магнитопровод использовался максимально эффективно. Однако тут снова все не просто. Во-первых, преобразователь не всегда функционирует на пределе своей мощности. Обычно он большую часть времени работает с некоторым коэффициентом загрузки, выходя на 100% мощности только в редких случаях, например, при включении или определенной смене режимов работы нагрузки. Это означает, что большую часть времени силовая часть, в зависимости от метода управления, будет работать или в безразрывном режиме или в режиме принудительной непрерывной проводимости, и, соответственно, все остальные элементы силовой части будут использоваться не так эффективно, как хотелось бы.

Во-вторых, с величиной переменной составляющей магнитной индукции  $B_M$  напрямую связаны потери в магнитопроводе, причем нелинейно. Многие производители магнитных материалов предлагают определять мощность потерь  $P_{\text{ПОТ}}$  в магнитопроводе по следующей формуле [8]:

$$P_{\text{ПОТ}} = aB_{\text{РК}}^b f^c V_{\text{ЭФ}} \quad (13)$$

где

$B_{\text{РК}}$  – амплитуда изменения магнитной индукции ( $B_{\text{РК}} = 0.5B_M$ );

$f$  – частота изменения магнитного потока;

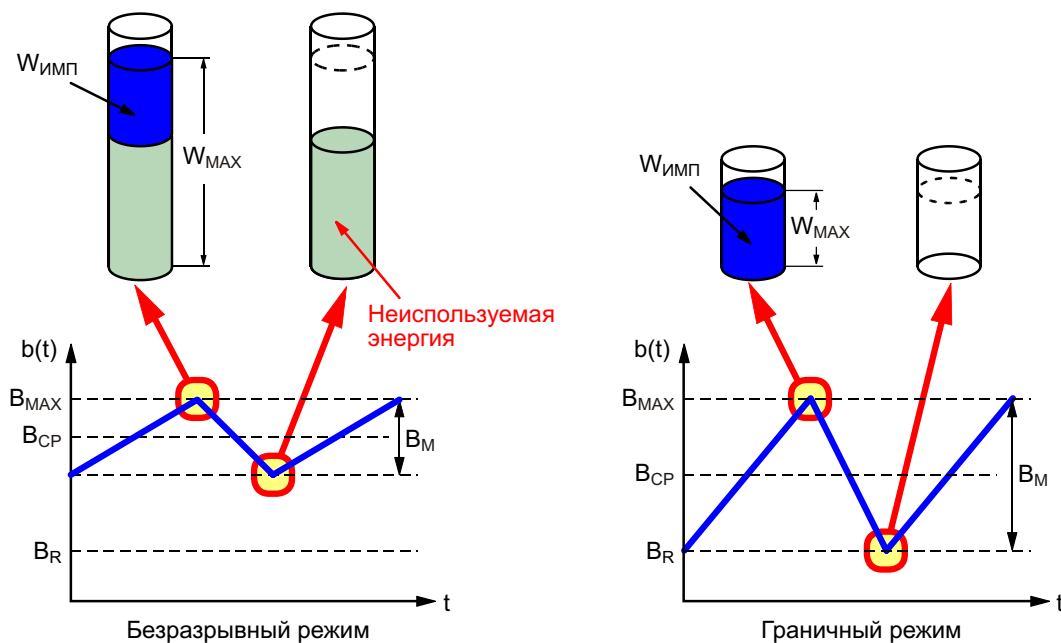
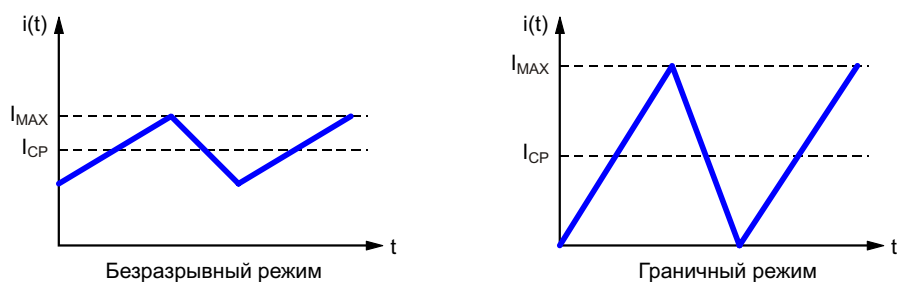


Рисунок 8. Энергетические процессы в дросселе при различных режимах работы.



**Рисунок 9.** Форма тока дросселя понижающего преобразователя при одинаковых токах нагрузки.

$a$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, зависящие от типа материала, обычно определяемые опытным путем.

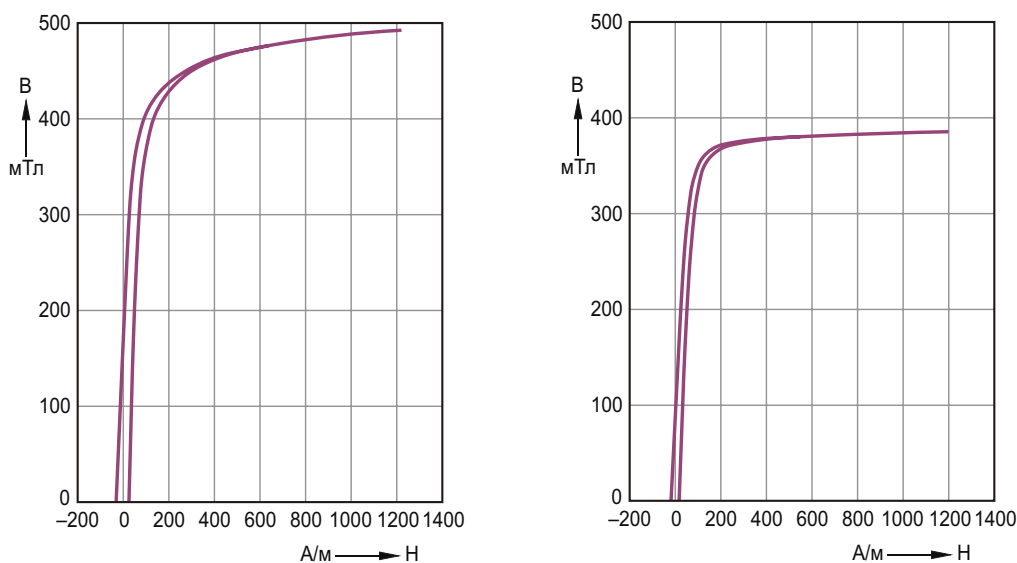
В-третьих, уровни пульсаций и амплитудные значения токов во всех элементах силовой части в безразрывном режиме меньше, чем в граничном режиме (Рисунок 9). Соответственно, для обеспечения граничного режима нужны более дорогие силовые компоненты, в первую очередь – транзисторы, диоды и конденсаторы, и величина потерь, как статических, так и динамических, в них также будет больше.

Как видите, выбор режима работы магнитопровода не является простым. Обычно в книгах по проектированию импульсных преобразователей рекомендуют компромиссные варианты. Например, при использовании классического ШИМ-регулирования с методом управления по напряжению часто можно встретить следующую рекомендацию: размах пульсации магнитного потока не дол-

жен превышать 30% от допустимого диапазона изменения магнитной индукции. Это означает, что, хотя в преобразователе и будет использоваться дроссель с большим магнитопроводом, но все остальные характеристики, в первую очередь КПД и коэффициент использования полупроводниковых приборов, будут намного выше.

И последний штрих перед продолжением расчетов. Каким может быть максимальное значение переменной составляющей магнитной индукции  $B_M$ ? Анализируя параметры магнитных материалов, например, приведенные в Таблице 1, может показаться, что магнитный материал можно использовать «на всю катушку». То есть, если, например, для феррита указано максимальное значение магнитной индукции 0.5 Тл, то его можно использовать в режиме  $B_M = 0.5$  Тл и  $B_{CP} = 0.25$  Тл (граничный режим). Это снова неправильно.

Дело в том, что все производители, и не только магнитных материалов, немного лука-



**Рисунок 10.** Кривые намагничивания феррита N87 при 25 °С (слева) и 100 °С (справа) [9].

вят, стараясь представить свой товар максимально выгодно. Да феррит, например, N87, можно намагнитить почти до 0.5 Тл (Рисунок 10), однако, во-первых, только при температуре 25 °С, а, во-вторых, начиная с индукции 0.35 Тл (при 25 °С) или 0.3 Тл (при 100 °С), кривая намагничивания перестает быть линейной. Это приводит к резкому падению магнитной проницаемости и, как следствие, резкому увеличению токов в элементах силовой части.

Конечно, можно себя успокаивать мыслью, что магнитопровод ВАШЕГО дросселя никогда не разогреется до 100 °С, ведь В<sub>И</sub> для этого принимаете все необходимые меры. Однако, как показывает практика, температура сердечника, надежно спрятанного за слоями обмоток и изоляции, особенно если пользователь почему-то закрыл вентиляционные отверстия в приборе, может достигать и больших значений.

Поэтому все расчеты силовой части преобразователей должны производиться при условии, что компоненты работают при температуре не меньше 100 °С, а саму температуру силовых компонентов во время работы желательно контролировать, не допуская их перегрева.

И еще один подводный камень. Магнитопроводы дросселей, в отличие от трансформаторов, работают с однополярным намагничиванием – это одно из условий работы как в граничном, так и безразрывном режиме. Следовательно, минимальное значение индукции ограничено величиной остаточной намагниченности  $B_R$  – индукции, которая остается в магнитопроводе при снятии внешнего поля. Обратите внимание, что остаточная индукция для феррита, как и для остальных магнитных материалов, выше при температуре 25 °С. Это означает, что фактический размах пульсации магнитного поля в магнитопроводе ограничен снизу остаточной индукцией  $B_R$  при минимальной температуре, которая для некоторых приложений может быть и –40 °С, а верхнее – точкой, в которой намагничивающие кривые начинают быть «слишком нелинейными» (определяется «на глазок») при максимальной температуре (не меньше 100 °С).

Так, например, для феррита N87  $B_R$  0.2 мТл (при 25 °С), а  $B_{MAX}$  0.3 мТл (при 100 °С) (Рисунок 10). Таким образом, если не

принимать никаких мер, то режим работы магнитопровода из этого материала, при котором преобразователь будет работать в граничном режиме,  $B_M$  0.1 Тл и  $V_{CP}$  0.05 Тл. С учетом высокой начальной магнитной проницаемости  $\mu_{ЭКВ} = 2200$ , согласно формуле (12), становится очевидно, что этот материал не очень хорошо подходит для накопления энергии. Ситуацию улучшает введение немагнитного зазора, который уменьшает не только  $\mu_{ЭКВ}$ , но и  $B_R$ , позволяя работать с большим размахом пульсации  $B_M$ . Однако, как было сказано выше, происходит это за счет выведения части энергии в окружающее пространство.

Таким образом, становится понятен дальнейший алгоритм действий. Вначале внимательно изучаем параметры доступных магнитных материалов, обращая внимание на величину магнитной проницаемости  $\mu_{ЭКВ}$ , индукции насыщения  $B_{НАС}$  и остаточной индукции  $B_R$  при максимальной и минимальной температуре. По рекомендациям производителя, техническим характеристикам материала или, в конце концов, по кривым намагничивания определяем величину  $B_{MAX}$ , которую нельзя превышать – она должна располагаться в конце линейного участка кривой намагничивания, снятой при температуре не ниже 100 °С. Теперь можно определить максимальный размах пульсаций  $B_{M\_MAX} = B_{MAX} - B_R$ , причем  $B_R$  нужно брать для минимальной температуры.

После этого задаемся рабочей величиной пульсации магнитного потока  $B_M$   $B_{M\_MAX}$ . На этом этапе мы фактически выбираем, в каком режиме будет работать магнитопровод при 100% нагрузки: граничном или все-таки безразрывном. Чем больше  $B_M$  будет отличаться от  $B_{M\_MAX}$ , тем в более глубоком безразрывном режиме будет работать преобразователь.

Затем необходимо выбрать рабочее значение подмагничивания магнитопровода из условия  $V_{CP} B_{MAX} - 0.5B_M$ . Здесь единственный разумный вариант – ориентироваться на знак равенства, однако если выбрать меньшее значение  $V_{CP}$ , то, кроме увеличения габаритов магнитопровода, больше ничего плохого не произойдет.

Ну, а дальше остается только по формуле (12) рассчитать минимальное значение  $L_{CP}$  и приступить к поиску сердечника подходящего размера. Именно этим мы и будем заниматься в следующей части.



## Заключение ко второй части

Прочитав только что написанный материал, я понимаю, что проще от него не стало. Но если раньше перед специалистом, особенно, начинающим, был один сплошной вопрос «что делать?», то теперь становится понятно, какой колоссальный объем работы предстоит выполнить, ведь магнитных материалов много, а информации о них порой бывает крайне мало, а та, что есть – крайне разрознена и не всегда систематизирована.

Однако не стоит отчаиваться, ведь на данном этапе важно всего лишь оценить возможности того или иного магнитопровода, поэтому не надо скрупулезно перебирать все позиции каталога производителя. Можно ограничиться оценкой типовых материалов, а затем, после предварительного выбора, произвести более точный расчет.

А можно просто вслепую взять первый попавшийся магнитопровод и посчитать, что на нем получится. И если не получится, то никому об этом не говорить. Однако как-то не хочется действовать вслепую, ведь без чет-

кого понимания сути происходящих процессов силовая электроника может преподнести разработчику множество не очень приятных сюрпризов. **РЛ**

## Список источников

1. Русу А.П. [Откуда появились базовые схемы преобразователей](#)
2. Русу А.П. [Зачем нужен трансформатор в импульсном преобразователе электрической энергии?](#)
3. Русу А.П. [Особенности применения трансформаторов в импульсных преобразователях электрической энергии](#)
4. Русу А.П. [В каком режиме должен работать магнитопровод дросселя импульсного преобразователя?](#)
5. Материалы с сайта <http://coretech.com.ua/>
6. Русу А.П. [Как определить размеры магнитопровода дросселя импульсного преобразователя](#)
7. Русу А.П. [Почему импульсные преобразователи «не любят» «легкую» нагрузку](#)
8. Каталог Powder Cores. – Epcos. – Magnetics. – 2017. – 112с.
9. Ferrites and accessories. SIFERRIT material N87. – Epcos. – 2006. – 7с.

*Продолжение темы в следующем номере*

# Ранние графические чипы, изменившие компьютерную индустрию

*Jon Peddie*

*Electronic Design*

Графические процессоры и контроллеры, изменившие направление движения рынка компьютерной графики, имеют долгую историю. Крупные игроки на развивающемся рынке графических чипов, включая IBM, Intel и Texas Instruments, помогли проложить путь к недорогой и высокопроизводительной обработке графики на персональных компьютерах. И многим из инновационных компаний этот процесс неожиданно принес хорошую прибыль.

Сегодня лидером рынка дискретных графических процессоров (GPU) является Nvidia, ориентированная на сферу высококачественных игровых компьютеров. Второе место на этом рынке занимает Advanced Micro Devices. Intel, которой принадлежит более 80% рынка персональных компьютеров, также долго доминировала на секторе интегрированных GPU и планирует продать первые дискретные GPU в 2020 году. В список поставщиков IP решений в области GPU входят ARM и Imagination Technologies.

Возможно, нас ждет еще одна неожиданность, связанная графическими чипами, поскольку искусственный интеллект захватывает значительную часть индустрии программного обеспечения. Сегодня самые совершенные графические чипы содержат тысячи ядер, каждое из которых способно выполнять множество вычислений, связанных с рендерингом теней, отражений, освещения и других функций – процесс, называемый параллельными вычислениями. Это также делает графические чипы идеальной платформой для запуска искусственного интеллекта на серверах.

Графические процессоры имеют долгую историю. В представленной ниже галерее специалист по компьютерной графике Джон Педди (Jon Peddie) возвращается в 1980-е годы, чтобы рассказать о некоторых из наиболее важных ранних графических чипов и картах.

Джон Педди – президент исследовательской и консалтинговой компании Jon

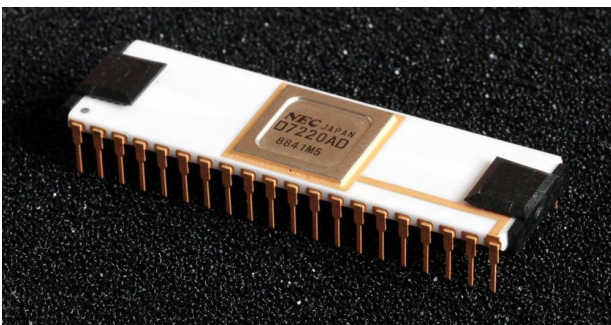


Джон Педди

Peddie Research, специализирующейся в области разработки графического оборудования, мультимедиа для профессиональных приложений, бытовой электроники и высокопроизводительных вычислений. Он считается пионером в индустрии компьютерной графики и выступает на многих конференциях и в университетах на темы, касающиеся графических технологий и новых тенденций в цифровых медиа. Бывший президент Siggraph Pioneers, Педди входит в консультативные советы нескольких конференций, организаций и компаний, а также публикует статьи для многочисленных изданий.

## NEC $\mu$ PD7220

В 1982 году NEC поразила мир выпуском БИС не просто контроллера ЭЛТ, но полноценного графического контроллера со встроенной библиотекой графических примитивов, совершившего революционный переворот в области отображения информации и указавшего путь разработчикам чипов на десятилетия вперед.



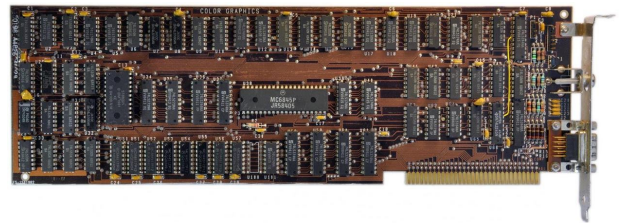
NEC  $\mu$ PD7220

Чип включал в себя все функции управления ЭЛТ (известные как CRTC), а также графические примитивы для дуг, линий, окружностей и специальных символов. Затраты на

программирование процессора были сведены к минимуму благодаря сложному набору команд GDC, возможности рисования графических фигур и наличию каналов DMA. Контроллер поддерживал световое перо и мог работать с четырьмя мегабитами графической памяти с поточечной адресацией, что для того времени было довольно много.

## IBM: от EGA к VGA

IBM устанавливала стандарты для графики персональных компьютеров с 1981 года, а адаптер EGA, представленный в 1987 году, был скопирован поставщиками клонов, которые предложили лучшую цену и открыли эпоху бенчмарк-войн в компьютерной графике, которая с тех пор прочно вошла в нашу жизнь.



IBM CGA

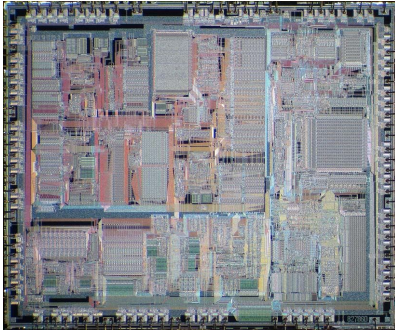
Большим прорывом для EGA и причиной того, почему она привлекла так много создателей клонов, было то, что ее графические режимы были построчными, в отличие от чересстрочных плат CGA и Hercules предыдущего поколения. Видеопамять была разделена на четыре страницы (за исключением платы  $640 \times 350 \times 2$ , которая имела две страницы), – по одной на каждый компонент цветового пространства RGBI.

## Intel 82786

Intel не особенно известна как поставщик графических чипов, хотя она продает больше графических процессоров, чем все ее конкуренты вместе взятые. Intel также была среди первых участников зарождающейся индустрии и в 1986 году представила очень популярный графический сопроцессор.

Компания анонсировала интегральный графический процессор 82786 в едином 88-контактном корпусе с матричным расположением выводов или в виде кристаллодержателя с выводами, содержащий процессор дис-



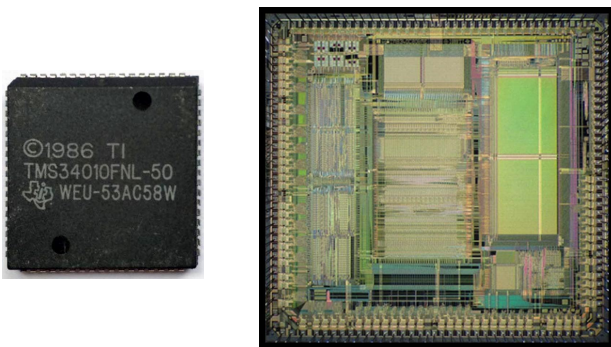


Intel 82786

плея с контроллером ЭЛТ и модуль шинного интерфейса с контроллером динамического ОЗУ/видеопамяти, поддерживающий 4 МБ памяти, которая могла включать как графическую, так и системную память. Intel была на коне.

### Texas Instruments TMS34010

Созданная в 1986 году микросхема TI TMS34010 была первым программируемым графическим чипом и первым устройством, где использовалась недавно разработанная (компанией TI) видеопамять (VRAM). TMS34010 оставался самым популярным графическим чипом высокого класса в течение многих лет.

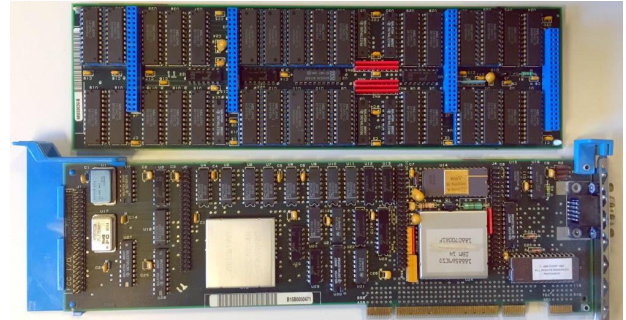


Texas Instruments TMS34010

Проектирование велось на предприятиях Texas Instruments в Бедфорде, Великобритания, и Хьюстоне, штат Техас. Первый чип заработал в Хьюстоне в декабре 1985 года, а первая партия (отладочных плат) была отправлена для рабочей станции IBM в Кингстоне, штат Нью-Йорк, в январе 1986 года. Кроме того, Карл Гуттаг (Karl Gutttag) лично показал рабочий образец 34010 Стиву Джобсу в NeXT в январе 1986 года.

### IBM PGC и 8514/A

Когда в 1986 году просочилась информация о том, что IBM работает над новым графическим чипом высокого разрешения, производители клонов быстро скопировали его, надеясь, что это откроет им путь к большим прибылям, как это было с VGA.



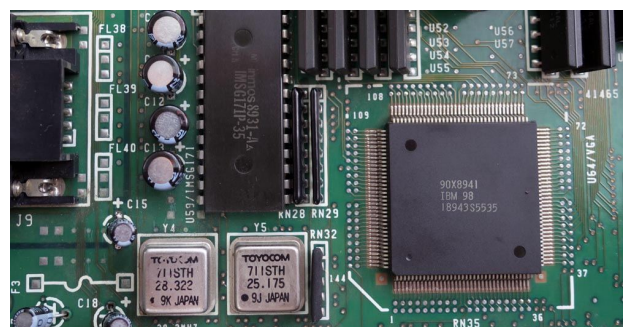
IBM 8514/A

До выпуска 8514/A IBM в 1984 году представила многоплатный контроллер, названный PGC (Professional Graphics Controller – профессиональный графический контроллер), часто называемый Professional Graphics Adapter, а иногда – Professional Graphics Array.

PGC состоял из трех взаимосвязанных печатных плат и содержал графический процессор и память. Предназначенный для программ компьютерного проектирования и верстки, контроллер PGC на момент выпуска был самой совершенной графической платой для IBM XT.

### VGA компании IBM

VGA стал воплощением господства IBM в области графики для персональных компьютеров, создавшей разъем и основное ядро графических чипов, которые до сих пор



IBM VGA

можно найти в современных устройствах. Есть ли кто-то, кто не слышал о VGA?

Говорят, что DC3 и 737 – самые популярные из когда-либо построенных самолетов, и 737, в частности, – самый продаваемый самолет всех времен. То же самое можно сказать

о вездесущем VGA и его старшем брате XGA. VGA, который до сих пор можно найти в современных графических и центральных процессорах, заложил основу стандарта видео и стандарта прикладного программирования. **РЛ**

# MERUS – многоуровневые аудиоусилители класса D для сверхкомпактных приложений

## Часть 2

Окончание. Начало в номере 05-2019

Rien Oortgiesen, Jens Tybo Jensen, Infineon Technologies

### 3.2 Преимущества многоуровневых усилителей класса D

Перечень преимуществ инновационных многоуровневых усилителей класса D включает в себя следующие пункты:

- Меньшие размеры решения и более низкая цена с меньшей зависимостью от фильтров;
- Более высокий КПД при типичных уровнях громкости;

- Снижение тепловыделения за счет значительного уменьшения потерь мощности;
- Более точное воспроизведение сигнала, улучшающее качество звука.

#### 3.2.1 Высокий КПД при типичных уровнях громкости

Многоуровневые усилители класса D очень эффективны при сниженном общем потреблении мощности, когда преобладают потери почти холостого хода, что делает их

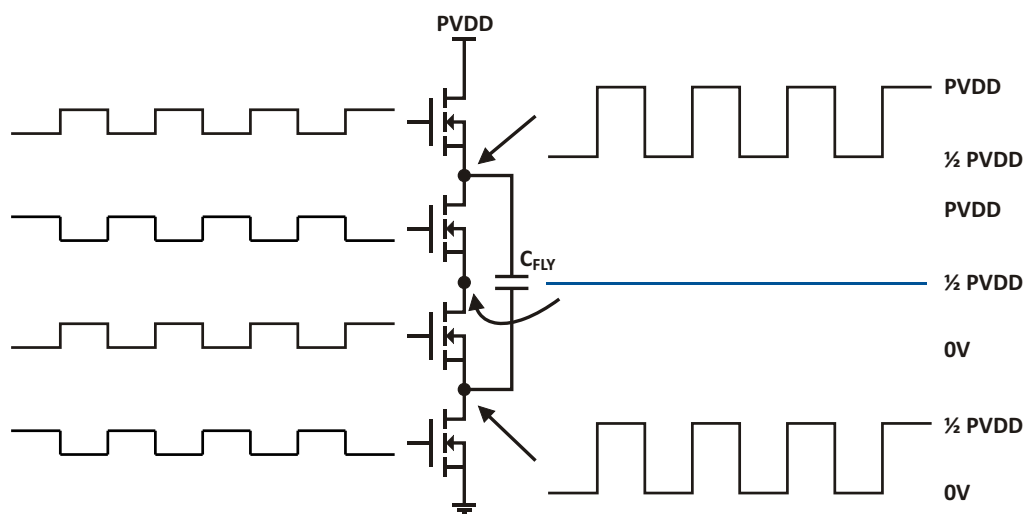


Рисунок 8. Многоуровневый выходной каскад в отсутствие входного сигнала.



отличной альтернативой традиционным усилителям класса D.

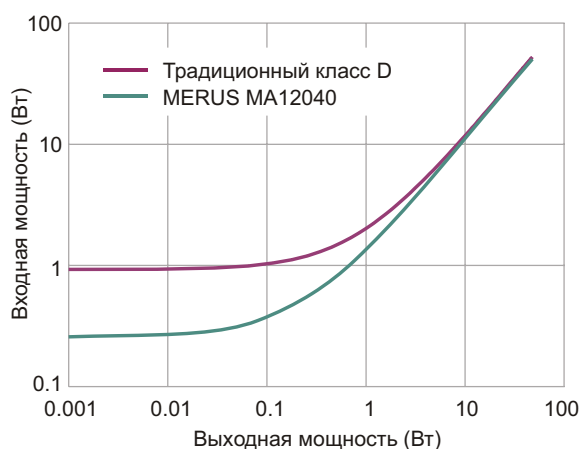
Когда многоуровневый усилитель работает на холостом ходу, каждый MOSFET в каждом полумостовом выходном каскаде управляется ШИМ-сигналом с коэффициентом заполнения 50%.

Как видно из Рисунка 8, реальный выходной узел содержит только сигнал постоянного тока ( $\frac{1}{2} PVDD$ ). В комбинированной полумостовой конфигурации дифференциальная нагрузка динамика в режиме ожидания в идеале будет «видеть» только нулевой сигнал.

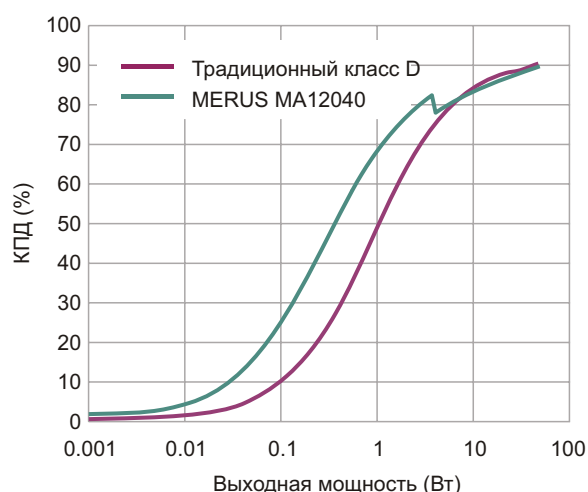
В системе многоуровневого усиления аудио, в выходном узле которой на холостом ходу не происходит никаких переключений, значительно снизить потери мощности помогают два основных механизма:

1. Устранение потерь проводимости на холостом ходу в силовом каскаде, фильтре и динамике (которые, как известно, являются бесполезной нагрузкой). Это касается как потерь проводимости, так и магнитных потерь.
2. Эффективное снижение емкостных потерь переключения благодаря внутреннему умножению частоты, используемому для уменьшения частоты переключения MOSFET.

Например, многоуровневый усилитель MERUS MA12040 в отсутствие входного сигнала рассеивает всего 250 мВт, как это видно из графика потребления мощности на Рисунке 9. Обратите внимание на то, что вблизи малых мощностей эта характеристика отно-



**Рисунок 9.** Зависимость потребляемой мощности усилителя MERUS MA12040 от выходной мощности.



**Рисунок 10.** Зависимость КПД усилителя MERUS MA12040 от выходной мощности.

сительно плоская и расположена значительно ниже, чем у обычного усилителя класса D, вплоть до выходной мощности до 2 Вт на канал. Поскольку общее энергопотребление определяется средними потерями мощности, и поскольку в нем преобладают потери на низких уровнях громкости при воспроизведении обычных аудиосигналов, многоуровневые усилители, по сравнению с большинством обычных усилителей класса D, демонстрируют общий коэффициент улучшения КПД, равный четырем или более.

Важная роль сниженного энергопотребления дополнительно подтверждается графиком зависимости КПД от выходной мощности (Рисунок 10). Оба графика на Рисунках 9 и 10 построены для усилителя MERUS MA12040 с максимальной выходной мощностью 40 Вт на нагрузке 4 Ом при напряжении шины питания 18 В.

Используя цифровой интерфейс управления для выбора метода модуляции и частоты переключения, можно установить различные режимы потребления мощности. Во время работы усилителя встроенный алгоритм управления питанием автоматически выбирает режим потребления, оптимальный для данного уровня мощности. Плавный переход между режимами питания минимизирует потери во всем диапазоне выходных мощностей, обеспечивая при этом высокой качество звука и низкий уровень электромагнитных помех.

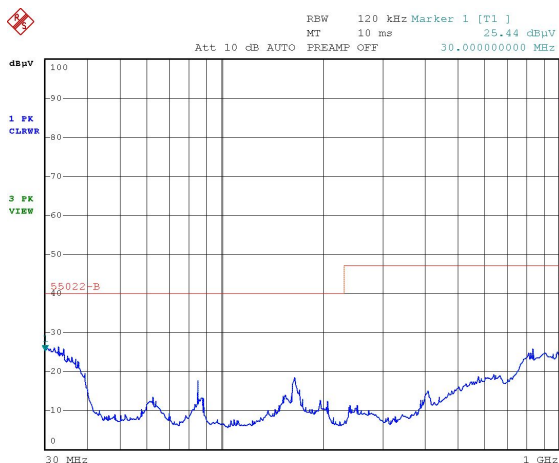
Благодаря низкому энергопотреблению, как в режиме ожидания, так и при средних уровнях громкости звука, портативные аудио-

системы могут конструироваться в расчете на значительное увеличение срока службы батарей или же на уменьшение их размеров.

Усилители MERUS позволяют разработчикам создавать одни из самых эффективных в мире портативных аудиоустройств, адресованных огромному рынку экологически сознательных потребителей, нуждающихся в инновационных продуктах.

### 3.2.2 Уменьшение размеров и снижение цены

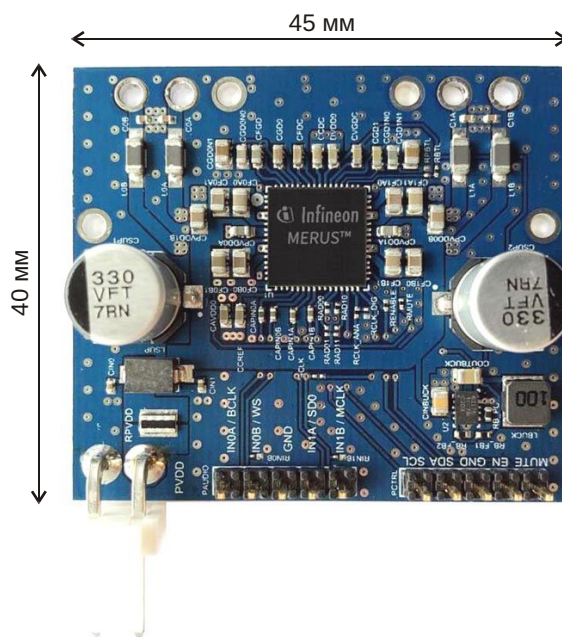
Содержание помех в сигнале многоуровневой модуляции ниже, чем в сигнале традиционного усилителя класса D. Улучшены также характеристики электромагнитной совместимости. На Рисунке 11 показан спектр электромагнитных излучений, измеренных на оценочной плате Infineon MERUS.



**Рисунок 11.** Электромагнитные излучения, измеренные на оценочной плате Infineon MERUS.

Из графика видно, что ограничения, установленные стандартом EN55022-B (красная линия), выполняются со значительным запасом. EN55022-B (Радиопомехи от оборудования информационных технологий. Нормы и методы измерений) – это один из самых строгих стандартов для потребительских товаров.

Для демонстрации использования многоуровневых усилительных устройств MERUS в ультракомпактных и малопотребляющих приложениях Infineon разработала оценочный набор в виде небольшой печатной платы (Рисунок 12). Несмотря на размеры всего 40 мм × 45 мм, выходная мощность этой платы достигает 80 Вт на канал. Все, что тре-



**Рисунок 12.** Оценочная плата Infineon с многоуровневым усилителем MERUS.

буется – это разместить на каждом полумостовом выходе усилителя фильтр электромагнитных помех с SMD ферритовой бусиной типоразмера 1210 и SMD конденсатором емкостью 1.0 нФ типоразмера 0402.

Благодаря отсутствию необходимости в значительной фильтрации для борьбы с нежелательными помехами, многоуровневые усилители могут управлять динамиками напрямую, часто без использования LC- и RC-фильтров, даже в устройствах с повышенной мощностью, что снижает стоимость приложения. Если же разработчик все-таки захочет использовать LC-фильтры, они могут быть меньше, чем те, которые используются для традиционных усилителей класса D.

Как показано, многоуровневые усилители идеально подходят для ультракомпактных решений, и их легче интегрировать в целевое приложение, чем традиционные усилители.

### 3.2.3 Меньшее выделение тепла при работе

Более низкие потери мощности напрямую определяют меньшее тепловыделение и более низкую температуру внутри устройства. В большинстве случаев для эффективного отвода тепла достаточно возможностей самой печатной платы схемы, даже в относительно мощных приложениях, для которых традиционно требуется специальный радиатор.

Более низкая температура внутри работающего аудиоустройства оставляет значительно больший запас времени для периодов с повышенной выходной мощностью, например, во время воспроизведения музыки на высоких уровнях громкости.

Защита усилителя и динамиков от возможных повреждений при возникновении различных неисправностей обеспечивается несколькими интегрированными функциями защиты, включающими, в частности, встроенные датчики температуры. Более низкая температура при работе замедляет тепловое старение, что также повышает надежность аудиоприложений.

### 3.2.4 Исключительное качество звука

Для более эффективного подавления источников ошибок, способных ухудшить качество звука, в многоуровневые аудиоусилители MERUS включена петля обратной связи четвертого порядка. Широтно-импульсная модуляция аудиосигнала в многоуровневом усилителе происходит внутри контура регулирования четвертого порядка. По сравнению с более традиционной петлей регулирования второго порядка, петля четвертого порядка дает гораздо лучшее усиление и, соответственно, лучшее подавление источников ошибок. Это гарантирует очень низкие искажения сигнала, отличное качество звука и невосприимчивость к несовершенствам реальной системы, таким, например, как неидеальное напряжение на шине источника питания, создающее помехи и пульсации.

В усилители MERUS, как в аналоговые, так и в цифровые версии, полностью интегрированы цепи обратной связи. Это позволяет разработчикам обеспечить хорошие характеристики и устойчивость схемы при минимальных затратах усилий на проектирование, без трудоемкой процедуры выбора и оптимизации компонентов внешнего фильтра цепи обратной связи.

## 4 Заключение

В этой статье рассмотрены преимущества истинно многоуровневых усилителей класса D, представленных продуктами MERUS как примерами первой в мире многоуровневой аудиотехнологии.

Благодаря сверхвысокой энергоэффективности и очень компактным решениям, технология истинно многоуровневого усиления, доступная как в аналоговой, так и в цифровой версиях, дает разработчикам потребительских аудиоприложений дополнительную свободу проектирования.

Работая от источника фиксированного напряжения, многоуровневый усилитель значительно снижает потери мощности при нормальных уровнях громкости и в большинстве приложений не требует LC- и RC-фильтров.

Многоуровневые усилители класса D превосходят в приложениях, требующих небольших размеров, низкого тепловыделения или низкого энергопотребления, включая:

- Колонки с автономным питанием
- Звуковые панели
- Беспроводные колонки
- Многокомнатные аудиосистемы
- Системы домашних театров

Многоуровневые усилители обеспечивают сочетание более мощного звука с самым низким энергопотреблением и наименьшей занимаемой площадью для устройств как с батарейным, так и сетевым питанием.

Комбинация схемы многоуровневой коммутации и динамического управления питанием расширяет границы эффективности и компактности решений для высококачественного усиления звука. **PL**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Infineon MA12040](#)



# Самые большие солнечные электростанции на Земле

Cabe Atwell

Electronic Design

*Сверхдержавы всех континентов участвуют в гонке за звание обладателя крупнейшего в мире проекта солнечной энергетики. Кто выиграет гонку за чистую энергию, и что же мы потеряем?*

**В**озобновляемая энергия вызвала большой ажиотаж в энергетическом секторе. Несмотря на значительный объем начальных инвестиций, в долгосрочной перспективе чистая энергия дешевле и снижает нашу зависимость от ископаемого топлива. Для некоторых частей света использование солнечной энергии имеет наибольший смысл. Возьмем для примера пустыни Египта и Индии. При интенсивном солнечном свете в течение всего дня почти круглый год солнце может стать ключом к удовлетворению постоянно растущих потребностей этих стран в электроэнергии.

## Появление крупномасштабных проектов солнечной энергетики

В 1968 году итальянский профессор Джованни Франсия (Giovanni Francia) построил Сант-Иларио, Италия, первую электростанцию на основе концентратора солнечной энергии. В то время солнечная энергия концентрировалась с помощью группы зеркал, а затем сохранялась в различных устройствах для накопления энергии. За последние 50 лет солнечные технологии значительно изменились, но одно можно сказать наверняка: популярность солнечной энергии продолжа-



ет расти. Строительство крупномасштабных солнечных электростанций переживает период подъема.

Определение крупномасштабного солнечного проекта будет различным в зависимости от того, кого вы об этом спросите. Этот термин применялся к проектам с генерируемой мощностью от 25 кВт до более чем 50 МВт, а также к любым проектам с промежуточной мощностью. Ассоциация солнечной энергетики (SEIA) называет крупномасштабным любой проект с генерируемой мощностью более 1 МВт в год. Для простоты мы согласимся с этим определением.

Проще говоря, крупномасштабный проект солнечной энергетики означает очень, очень большую солнечную электростанцию. Эти объекты появляются практически на всех

континентах (за исключением Антарктиды, хотя там также есть небольшой солнечный проект). Станции ежегодно производят от 500 до 5000 МВт чистой солнечной энергии.

Крупнейшие в мире проекты в настоящее время находятся в стадии разработки, и это выглядит как всеобщая гонка за первенство. Ниже мы приводим список крупнейших в мире солнечных ферм по регионам в порядке возрастания.

### Крупнейшая солнечная электростанция в США

- *Solar Star в Розамонд, Калифорния (Рисунок 1)*
- *Вырабатываемая мощность: 579 МВт*



**Рисунок 1.**

Благодаря наличию обширных, преимущественно необитаемых пустынных районов, в Калифорнии построены крупнейшие солнечные электростанции в США. Среди них – Topaz Solar Star и Desert Sunlight, каждая из которых производит 550 МВт солнечной энергии в год. Однако ни одна из них не превосходит Solar Star в Розамонд, штат Калифорния (ранее известную как Antelope Valley Solar Projects).

Solar Star вырабатывает 579 МВт в год. Станция была запущена в эксплуатацию в июне 2015 года, и по проектной мощности являлась в то время крупнейшей действующей солнечной фермой. На станции установлено 1.7 млн солнечных панелей, расположенных на 3200 акрах в самой западной части долины пустыни Мохаве. Solar Star достигла такой мощности благодаря использованию более эффективных солнечных панелей из кристаллического кремния, которые вырабатывают больше мощности, чем стандартные маломощные тонкопленочные теллу-

рид-кадмиевые (CdTe) фотогальванические панели, используемые на солнечных электростанциях Topaz и Desert Sunlight.

Solar Star производит достаточно электроэнергии, чтобы обеспечить 255,000 домов. Станция расположена в 90 минутах езды от Лос-Анджелеса. Когда в следующий раз вы будете в Малибу, поезжайте в Розамонд и посмотрите сами.

### Крупнейшая солнечная ферма на американских континентах

- *Солнечный парк Villanueva в Коауила, Мексика (Рисунок 2)*
- *Вырабатываемая мощность: 754 МВт*



**Рисунок 2.**

Мексика посвятила себя экологически чистой энергии. Страна планирует к 2024 году получать 35% своей энергии из возобновляемых источников. Для достижения этой цели Мексика неуклонно расширяет солнечный парк Villanueva в Коауила.

Villanueva вырабатывает 754 МВт в год и включает в себя две солнечные фермы: Villanueva 1 мощностью 427 МВт и Villanueva 3 мощностью 327 МВт. Предприятие планирует ежегодно увеличивать выработку солнечной энергии, чтобы достичь конечной цели – 1700 ГВт·ч в год. Villanueva станет крупнейшей станцией компании Enel Green Power.

### Крупнейшая солнечная ферма в Азии

- *Солнечный парк Tengger Desert в Чжунвэй, Нинся, Китай (Рисунок 3)*
- *Вырабатываемая мощность: 1500 МВт*

Китай имеет наибольшую мощность солнечных электростанций по сравнению с любой другой страной мира. В целом с помощью солнечных электростанций страна





**Рисунок 3.**

вырабатывает 130 ГВт энергии в год. И это впечатляет. Для сравнения: этого количества более чем достаточно, чтобы питать чистой энергией все Соединенное Королевство.

Китай не только располагает наибольшими генерирующими мощностями, но также имеет крупнейшую солнечную электростанцию в мире с точки зрения ее размеров и количества производимой энергии. Tengger Desert генерирует впечатляющие 1500 МВт в год. Ферма, прозванная «Великая солнечная стена», протянулась на 745 миль и заняла 3.2% всей пустыни Тэнгэр.

В Китае также есть несколько других крупных солнечных ферм, включая расположенную на Тибетском плато Longyangxia Dam с выработкой 850 МВт. Нашей любимой станцией, однако, является самая симпатичная на планете электростанция в округе Датун (Рисунок 4), где 248 акров солнечных панелей изображают двух гигантских панд (одна из них даже машет лапой).



**Рисунок 4.**

## Средний восток

- *Новый солнечный парк в Нубийской пустыне, Египет (Рисунок 5)*
- *Вырабатываемая мощность: 1.8 ГВт*



**Рисунок 5.**

Египет также участвует в гонке за создание крупнейшей солнечной фермы в мире, развивая свой новый проект солнечной энергетики стоимостью 2.8 млрд долларов. К югу от Каира в Нубийской пустыне Египет строит солнечную электростанцию, мощность которой составит 1.8 ГВт.

Новая солнечная ферма строится на участке пустыни площадью 235 акров. Она будет состоять примерно из 200,000 фотогальванических панелей, для большей эффективности поворачивающихся вслед за движением солнца. Проект был запущен, чтобы помочь нации в достижении поставленной цели: увеличить к 2022 году долю возобновляемой энергии в 20%.

По завершении строительства это будет крупнейшая солнечная ферма в мире, при условии, что строительство завершится раньше, чем в Индии, или по этому поводу не скажут что-нибудь ОАЭ.

## Крупнейшие в мире разрабатываемые проекты солнечной энергетики

### *Pavagada Solar Park*

- *Павагада, Тумкур в штате Карнатака, Индия (Рисунок 6)*
- *Планируемая мощность: 2000 МВт*

Ни Китаю, ни Египту не удастся долго удерживать титул обладателя крупнейшей солнечной фермы в Азии. На это место претендует Индия, создавая солнечную ферму площадью 20 квадратных миль в техническом центре Карнатака.



**Рисунок 6.**

Для создания парка потребуется 2 млрд долларов. После завершения строительства парк мощностью 2 ГВт, как ожидается, будет обеспечивать энергией 700,000 домов. Первая фаза проекта уже завершена и выдает энергию. Работы продолжаются, хотя и достаточно медленно из-за проблем, связанных с высокой стоимостью проекта. Тем не менее, готовый проект станет крупнейшим в Азии.

Стоит также отметить, что в Индии находятся одни из самых больших солнечных парков на земле.

### **Солнечный парк Mohammed bin Rashid Al Maktoum**

- *Объединенные Арабские Эмираты (Рисунок 7)*
- *Планируемая мощность: 5000 МВт к 2030 году*

Мы оставили лучшее напоследок. Самым впечатляющим проектом солнечной энергетики на планете на сегодняшний день является солнечный парк имени Мохаммеда бин Рашида Аль Мактума в Объединенных Арабских Эмиратах (ОАЭ), расположенный в 50 милях к югу от Дубая. Парк назван в честь премьер-министра ОАЭ. Предполагается, что по завершении проекта в 2030 году он будет вырабатывать 5000 МВт электроэнергии в год, что позволит Дубаю к 2050 году достичь конечной цели и получать из чистых источников 75% энергии.

Этот солнечный парк не только является самым амбициозным на планете, но также и самым крутым. Уже находящийся в стадии разработки, он будет представлять собой самую большую солнечную башню в мире высотой более 850 футов, которая будет давать 700 МВт чистой энергии.



**Рисунок 7.**

Станция развивается поэтапно. К 2020 году она должна вырабатывать 1000 МВт. Предполагается, что к 2030 году мощность станции составит 5000 МВт.

Эта солнечная электростанция также будет служить источником энергии для выставки Expo 2020, что сделает ее первой международной выставкой, на 100% питаемой экологически чистой энергией.

### **Вывод: потенциальные последствия стремительного развития солнечной энергетики**



Гигантские солнечные электростанции являются относительно новым начинанием. В июне 2010 года в мире действовало всего 34 крупных солнечных проекта. Сегодня их сотни. Нас впечатляет энтузиазм, с которым страны всего мира стремятся к созданию будущего, основанного на чистой энергии, но солнечная энергетика не обходится без проблем.

В краткосрочной перспективе солнечным фермам нужны обширные участки земли и



значительное количество воды. Это создает угрозу для природных экосистем, флоры и фауны в этих районах. Недавнее исследование также показало, что температура под солнечными панелями понижается на 5 °С, что может значительно повлиять на местное сельское хозяйство. Солнечные батареи также создают в 300 раз больше токсичных отходов на единицу, чем атомная энергетика, и при неправильной утилизации могут привести к опасным последствиям для здоровья человека. Это особенно важно для солнечных электростанций в развивающихся странах, таких как Индия и Руанда.

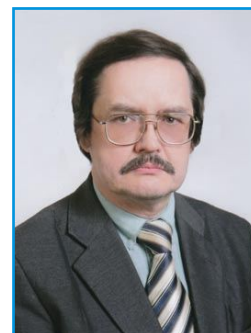
Другие недостатки солнечной энергии связаны с ее использованием. То, что солнечные фермы могут вырабатывать несколько гига-ватт энергии, не означает, что всей этой энергии можно найти применение. Солнечные

фермы требуют обширного пространства и располагаются вдали от крупных городов, которым требуется электроэнергия. Таким образом, большая часть собранной солнечной энергии не используется. В Китае в среднем 30% солнечной энергии тратится впустую из-за инфраструктурных проблем.

Предлагаемое в настоящее время решение этой проблемы предполагает создание суперсетей, которые могут брать энергию из отдаленных мест и распределять ее по крупным городским районам. Так, например, предложена суперсеть, которая будет охватывать большую часть Азии и России, а также суперсеть, объединяющая ЕС.

Подведем итог: если вы намерены отключиться от сети, тщательно выберите свое местоположение. Скоро сеть сама сможет найти вас. **РЛ**

# Умножитель/ делитель частоты цифровых сигналов с RC-цепочкой в цепи обратной связи



Михаил Шустов, г. Томск

Приведено описание цифрового устройства с RC-цепочкой в цепи обратной связи, позволяющего в зависимости от значения постоянной RC-цепи умножать или делить частоту входного цифрового сигнала на дискретно регулируемое целочисленное значение

Делители частоты с регулируемой RC-цепочкой в цепи обратной связи отличаются исключительной простотой и не лишены определенных преимуществ и недостатков в сравнении с классическими делителями частоты цифровых сигналов [1–5].

Достоинства таких делителей заключаются в том, что они позволяют ступенчато посредством регулировки сопротивления потенциометра менять коэффициент деления

$n$  в целочисленном его выражении (1, 2, 3, ..., ...,  $n$ ) без перепайки и перекомпоновки устройства в весьма широких пределах (коэффициент деления может намного превышать 1000).

Разумеется, у подобных делителей есть и недостатки. Это способность обеспечить требуемый коэффициент деления только при неизменной частоте входного сигнала, а также зависимость коэффициента деления от скажности  $S$  этого сигнала.

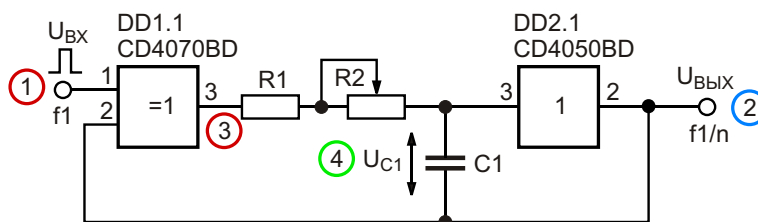
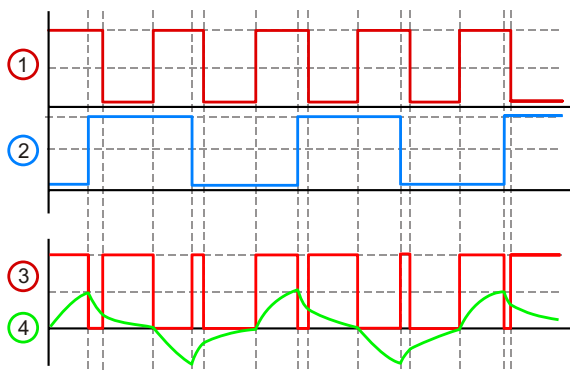
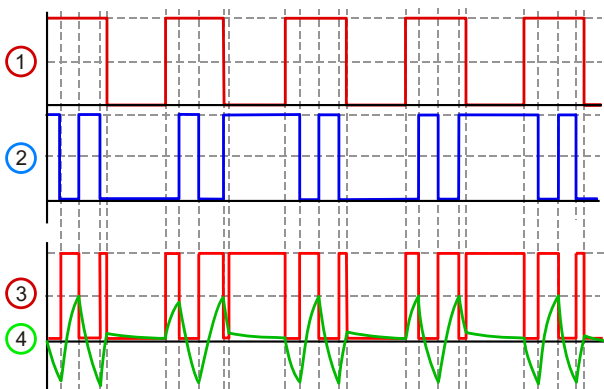


Рисунок 1. Схема регулируемого целочисленного умножителя/делителя частоты импульсных сигналов.



**Рисунок 2.** Динамика электрических процессов в различных точках устройства. Коэффициент деления 2.

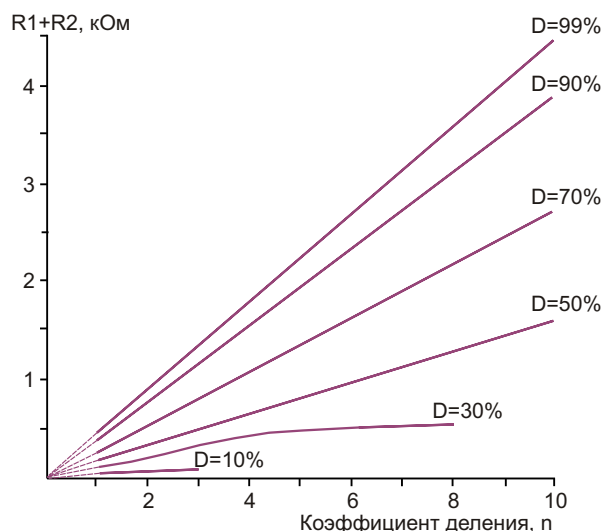


**Рисунок 3.** Динамика электрических процессов в различных точках устройства. Коэффициент умножения 1.5.

Делитель частоты, Рисунок 1, собран на элементах «Исключающее ИЛИ» DD1.1 и повторителе DD2.1, выполняющем функции компаратора с порогом переключения  $U_{\text{пит}}/2$ . Впрочем, для повторения устройства могут быть использованы и иные элементы цифровой техники с соответствующей коррекцией схемы, например, два элемента «Исключающее ИЛИ».

Резистор R1 задает минимальный коэффициент деления, потенциометр R2 – максимальный. Период входных сигналов T для обеспечения начального коэффициента деления  $n = 1$  должен отвечать условию:  $T < (3.9...4.6)R1C1$ . Так, например, для частоты входных сигналов 100 кГц ( $T = 10^{-5}$  с) емкость конденсатора  $C1 = 10$  нФ при  $R1 = 240$  Ом. Напряжение питания устройства здесь и далее 10 В.

Динамика переходных процессов, наблюдаемая в контрольных точках устройства при  $n = 2$ , отображена на Рисунке 2.



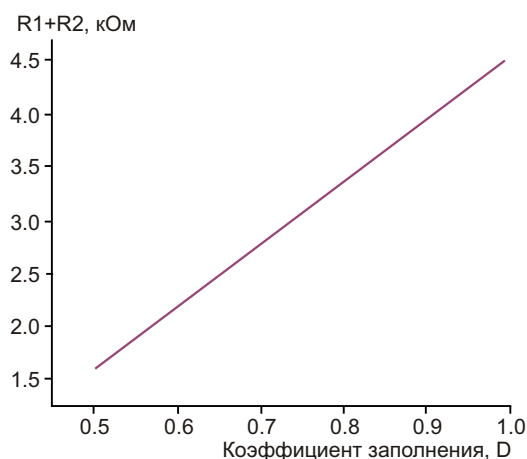
**Рисунок 4.** Зависимость коэффициента деления/умножения частоты n от коэффициента заполнения импульса входных сигналов D и суммы сопротивлений  $R1 + R2$ , Рисунок 1.

При условии  $T < (3.9...4.6)R1C1$  устройство радикально меняет свою функцию – становится умножителем частоты (см. Рисунок 3) с коэффициентом умножения 1.5. Выходные импульсы умножителя частоты имеют разную ширину и расположены неравномерно по оси времени, что в ряде случаев вполне допустимо. При увеличении коэффициента умножения устройство начинает генерировать пакеты коротких импульсов, усредненная частота которых на продолжительном отрезке времени кратно превышает частоту входного сигнала.

Варьирование коэффициента заполнения импульсов входного сигнала сказывается на коэффициенте деления устройства, что следует учитывать при проектировании и эксплуатации делителя частоты.

На Рисунке 4 показана зависимость коэффициента деления n (сплошная линия) или умножения частоты  $1/n$  (пунктирная линия) при изменении коэффициента заполнения импульса входных сигналов  $D = 1/S$  и суммы сопротивлений  $R1 + R2$ . Емкость конденсатора  $C1 = 10$  нФ, частота входных сигналов 100 кГц с амплитудой 10 В.

В качестве примера на Рисунке 5 для получения коэффициента деления частоты  $n = 10$  приведена зависимость необходимой суммы сопротивлений  $R1 + R2$  ( $C1 = 10$  нФ; частота входных сигналов 100 кГц) при варьировании значения коэффициента заполне-



**Рисунок 5.** Сумма сопротивлений  $R1 + R2$  при  $C1 = 10$  нФ, Рисунок 1, необходимая для получения коэффициента деления частоты  $n = 10$  при варьировании значения коэффициента заполнения импульса входных сигналов  $D$ .

ния импульса входных сигналов  $D$  от 50 до 100% (0.5...0.99). **ПЛ**

## Литература

1. Шустов М.А. Регулируемый делитель частоты в целочисленное число раз // Радиолобитель. – 2018. – № 8. – С. 17–18.
2. Шустов М.А. Регулируемые делители частоты цифровых сигналов на RC-переходных процессах // Радиолобитель. – 2018. – № 11. – С. 14–15.
3. Шустов М.А. [Цифровые формирователи трехфазного напряжения с ШИМ-управлением](#)
4. Шустов М.А. Две простые схемы: Регулируемый умножитель-делитель частоты. Регулируемый цифровой фильтр верхних/нижних частот // Радиоаматор. – 2019. – № 1–2. – С. 25.
5. Shustov M.A., Shustov A.M. Frequency Divider with Adjustable Integer Division Factor // ElektorLabs. – 2019. – V. 45 (493). – № 1. – P. 13.

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments CD4050B](#)
2. [Datasheet Texas Instruments CD4070B](#)



# Управление включением вентилятора для поддержания оптимальной температуры радиатора охлаждения



## Часть 1

Алексей Кузьминов, Москва

*В статье представлены схемы, разводка плат и фотографии недорогих миниатюрных устройств управления включением-выключением вентиляторов охлаждения радиаторов силовых элементов мощных усилителей и источников питания (ИП) в зависимости от температуры их нагрева. Применение современной элементной базы и простота схем устройств позволили на порядок снизить их стоимость по сравнению с подобными устройствами промышленного изготовления, а также существенно уменьшить производимый ими шум.*

### Введение

В процессе эксплуатации усилителя [1], работающего совместно с ИП [2], было выявлено, что при их работе в режиме максимальной мощности или близком к нему радиаторы охлаждения как самого усилителя, так и ИП нагреваются до неприемлемо высокой температуры (до 50 °С и выше), тогда как при малых и средних мощностях (а это львиная доля всех режимов работы) температура радиаторов находится на приемлемом уровне, то есть конвективный способ охлаждения радиаторов в таких режимах вполне себя оправдывает. Снизить температуру радиаторов, как известно, можно двумя способами: либо увеличив площадь поверхности радиаторов, либо применив принудительное охлаждение с помощью вентиляторов. Первый способ, на взгляд автора, излишне затра-

тен, так как стоимость радиаторов напрямую зависит от их размера и для достаточно габаритных радиаторов может достигать единиц тысяч рублей. Охлаждение радиаторов вентиляторами (второй способ) связан с приобретением промышленных дорогостоящих устройств охлаждения на основе вентиляторов и датчиков температуры, стоимость которых еще выше: например, подобные устройства на основе двух вентиляторов и датчика температуры, найденные автором в Интернете, продаются по цене от 2 тысяч рублей и выше. Кроме того, шум, создаваемый подобными устройствами, неприемлемо высок (до 40 дБ и более). В то же время существуют вентиляторы, применяемые для охлаждения видеокарт. Это наиболее современные, малогабаритные и малошумные (до 20 дБ) вентиляторы, стоимость которых не превышает 100 руб. Но устанавливать подобные венти-

ляторы на радиаторы охлаждения и включать их на постоянную работу также неприемлемо, поскольку, как отмечалось выше, уже при средних уровнях мощности принудительно охлаждать радиаторы не требуется, и даже такой малый уровень шума (20 дБ), особенно при малых уровнях громкости (мощности), может создать дискомфортное восприятие музыкального сигнала.

У автора возникла идея: а нельзя ли сконструировать электронное устройство охлаждения на базе вентиляторов и датчика температуры, которое бы включало вентиляторы только при достаточно высоком нагреве радиаторов, а при слабом нагреве не включало их вообще. Анализ схем подобных устройств, найденных автором в Интернете, показал, что таких схем масса: начиная от самых простых, сконструированных на дискретных компонентах (например, на базе термистора и полевого транзистора), и кончая достаточно сложными с применением биполярных транзисторов и ОУ. Однако ни одна из подобных схем автора не устроила, поскольку, на его взгляд, все они либо достаточно сложны, либо сконструированы с применением устаревшей элементной базы, из-за чего имеют достаточно крупные габариты.

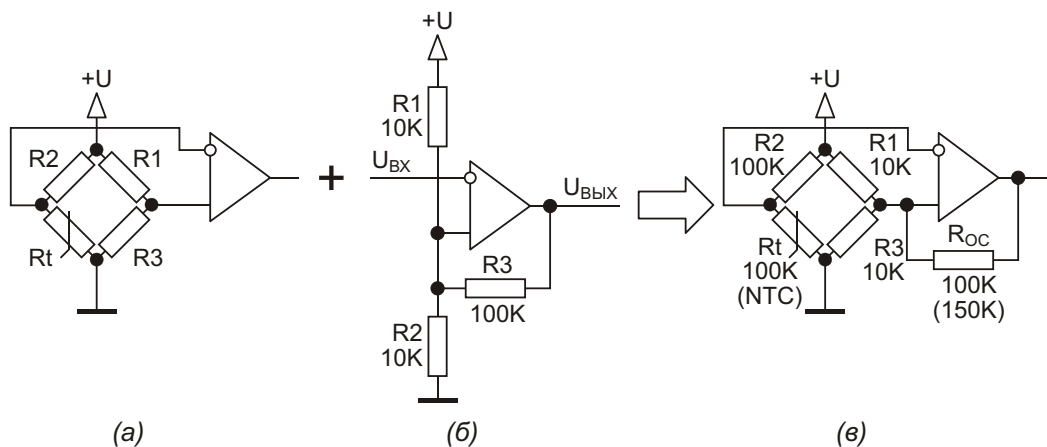
В связи с вышеизложенным, автором была разработана собственная схема такого устройства, которое показало надежную работу, имело достаточно миниатюрные габариты, а стоимость входящих в него электронных компонентов не превысила 100 руб.

Описание подобного устройства и является предметом настоящей статьи.

Таким образом, дальнейшее изложение будет построено следующим образом. Вначале будут приведены принципиальные схемы устройств (их два), затем – разводка их плат и фотографии. Далее будет рассмотрен способ их настройки (градуировка) и, наконец, приведены результаты их работы.

## Принципиальные схемы устройств

Для того чтобы понять принципиальную схему устройства, предназначенного для включения-выключения вентилятора в зависимости от температуры радиатора, прежде всего, необходимо уяснить, что представляет собой датчик температуры, используемый в схеме. Таким датчиком является термистор (терморезистор, термометр сопротивления и т.п.). Это полупроводниковый прибор, сопротивление которого зависит от температуры. Причем, с увеличением температуры сопротивление термистора уменьшается, или, другими словами, он имеет отрицательный температурный коэффициент (Negative Temperature Coefficient – NTC). Он так и называется: NTC-термистор, или просто – NTC. Зависимость сопротивления NTC от температуры нелинейна, поэтому, чтобы существенно линеаризовать эту зависимость, применяют классический мост Уитстона совместно с ОУ в дифференциальном включении (Рисунок 1а, [3]). Баланс такого моста наступает при условии  $R2/Rt = R1/R3$ , где  $Rt$  – как раз и есть сопротивление термистора. При равенстве  $R1 = R3$ , очевидно, что порог переключения в схеме Рисунок 1а будет составлять  $U/2$ , где  $U$  – напряжение питания. Други-



**Рисунок 1.** Использование моста Уитстона (а) и триггера Шмитта (б) в структурной схеме измерения температуры (в).

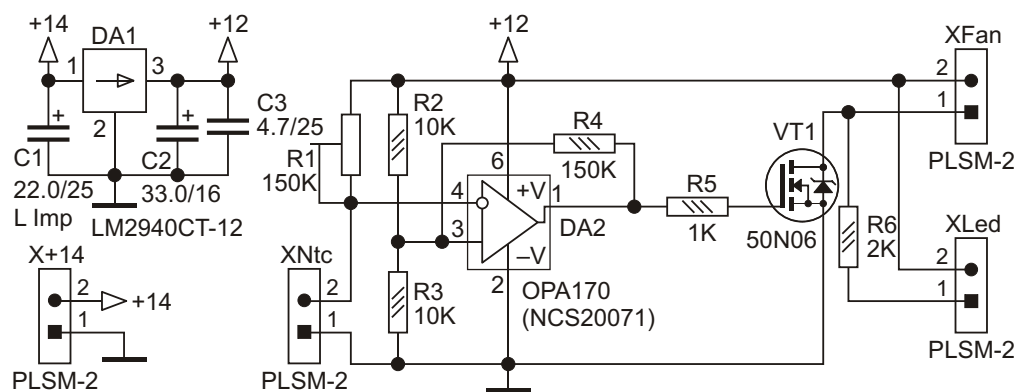
ми словами, если напряжение на инвертирующем входе ОУ ниже порога  $U/2$ , то выходное напряжение будет иметь высокий потенциал, равный напряжению питания  $U$  (при условии, что ОУ обладает свойством Rail-To-Rail, означающим, что он способен воспроизвести выходной сигнал в диапазоне напряжений вплоть до напряжений питания и «земли»). Если же это входное напряжение выше порога, то выходное напряжение будет иметь нулевой («земляной») потенциал. Однако если входное напряжение находится близко к порогу, то это приведет к частым переключениям. Для того чтобы избавиться от таких частых переключений, необходимо ввести в схему некоторый гистерезис. Подобным свойством, как известно, обладает триггер Шмитта, сконструированный (в том числе) на ОУ (Рисунок 1б, [3]). Это свойство триггер Шмитта приобретает за счет введения положительной обратной связи с помощью резистора  $R3$ . Размах напряжения гистерезиса в этой схеме составляет [3]:

$$U_{\text{ГИСТ}} = U \frac{R1 \parallel R2}{R3} \quad (1)$$

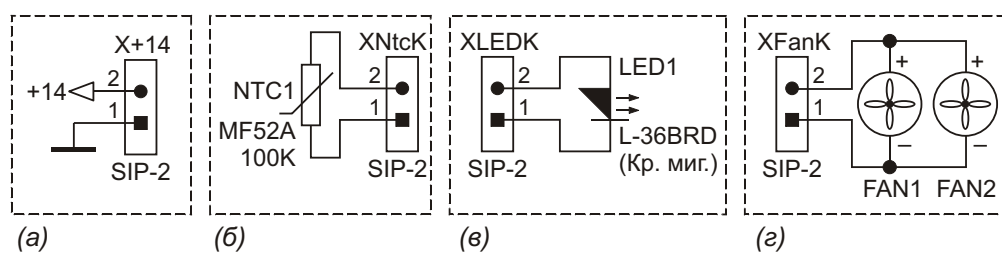
Если теперь объединить схемы Рисунок 1а и Рисунок 1б или, другими словами, ввести положительную обратную связь  $R_{OC}$  в схему 1а, то получим схему уже с гистерезисом (Рисунок 1в), которая и является основой для принципиальной схемы устройства. Из уравнения (1) следует, что для схемы Рисунок 1в при фиксированных значениях  $R1$  и  $R3$  и при их равенстве  $R1=R3=R_F$  размах напряжения гистерезиса  $U_{\text{ГИСТ}}$  будет определяться (при заданном  $U$ ) отношением  $R_F/2R_{OC}$ : чем оно меньше, тем уже гистерезис.

Здесь необходимо отметить, что все предыдущие рассуждения касались только электрических параметров схем (в основном, напряжений), а как обстоит дело, когда имеется реальная температура, и как при этом условии будет работать схема? Для этого необходимо произвести градуировку схемы (см. далее), или, другими словами, подобрать номинал резистора  $R2$  (Рисунок 1в) таким образом, чтобы при превышении температурой верхнего порога вентиляторы включались, а при температуре ниже определенного порога – выключались.

И последнее, наиболее важное свойство схемы Рисунок 1в, которое следует особо подчеркнуть. Как видно из этой схемы, точка соединения резистора  $R2$  и термистора  $R_t$  подключена к инвертирующему входу ОУ. Это означает, что при повышении напряжения в этой точке и пересечения им (напряжением) верхнего порога выходное напряжение ОУ скачком переключается в низкий уровень (потенциал «земли»), а при снижении напряжения и пересечения им нижнего порога, выходное напряжение скачком переключается в высокий уровень (напряжение питания). Кроме того, поскольку термистор подключен к нижней части плеча  $R2R_t$  и имеет отрицательный температурный коэффициент, при увеличении температуры сопротивление  $R_t$  начинает уменьшаться, и в связи с этим напряжение в точке соединения  $R2$  и  $R_t$  (то есть на инвертирующем входе ОУ) начинает снижаться, а при уменьшении температуры – повышаться. Из этого следует, что верхний порог температуры соответствует нижнему порогу напряжения, а нижний порог температуры – верхнему порогу напряжения на инвертирующем входе ОУ.



**Рисунок 2.** Принципиальная схема включения вентилятора с помощью ОУ и полевого транзистора.



**Рисунок 3.** Кабели подключения питания (а), термистора (б), светодиода (в) и вентиляторов (г).

Вышеизложенное означает, что при повышении температуры и пересечении верхнего порога температуры выходное напряжение ОУ скачком переключается в высокий уровень (напряжение питания), а при снижении температуры и пересечении нижнего порога температуры, выходное напряжение ОУ скачком переключается в низкий уровень (потенциал «земли»). Это основное свойство схемы и будет использовано в дальнейшем при объяснении работы уже принципиальных схем.

Теперь, после таких подробных объяснений, на взгляд автора, несложно понять и принципиальную схему устройства (Рисунок 2). Как видно из этой схемы, в качестве ОУ использована микросхема одноканального ОУ ОРА170 (DA2). Этот относительно современный Rail-To-Rail ОУ выпускается (в том числе) в миниатюрном корпусе SOT23-5 размером 3×3 мм и имеет максимальное напряжение питания 36 В. Вместо ОУ ОРА170 можно использовать ОУ NCS20071, являющийся почти полным аналогом ОРА170, но несколько дешевле его. Можно также использовать еще более дешевый ОУ TS321 (стоимостью около 20 руб. с максимальным напряжением питания 30 В) или LM321 (30 руб., 30 В), но у него другое расположение выводов, так что потребуются иная разводка схемы (приведена в дополнительных материалах к статье).

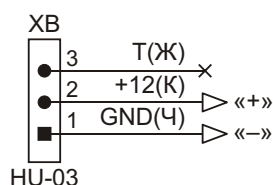
Схема включения ОУ (Рисунок 2), как можно заметить, в точности повторяет схему Рисунок 1в. Выход ОУ через токоограничивающий резистор R5 подключен к затвору транзистора VT1, выпускаемого в полностью изолированном корпусе TO-220F (50N06L-TF3-T). Исток транзистора заземлен, а нагрузка – вентиляторы и мигающий светодиод со своим токоограничивающим резистором R6 –

подключена между стоком транзистора и питанием (+12 В). Вентиляторы подключены через двухштырьковый цанговый разъем PSLM-2 с расстоянием между штырьками 2.54 мм (XFan). Через такие же разъемы подключены: светодиод (Xled), термистор (XNts) и входное напряжение питания +14 В (X+14). Сама же схема питается от стабилизированного напряжения +12 В, получаемого с помощью стабилизатора LM2940CT-12 (DA1) в корпусе TO-220 с низким падением напряжения (Low Drop Out – LDO), составляющим не более 0.5 В (типовое значение) и максимальным током 1 А. Использование стандартного стабилизатора (например, 7812 или 78M12) исключено, поскольку его падение напряжения составляет не менее 2 В (без нагрузки), поэтому при входном напряжении +14 В и дополнительной нагрузке в 300 – 400 мА (такой ток потребляют вентиляторы) этот стабилизатор не обеспечит стабилизированное напряжение +12 В.

Ко всем четырем разъемам подключаются двухпроводные кабели, которые одним концом, соответственно, соединены: с напряжением питания +14 В (Рисунок 3а), термистором (Рисунок 3б), светодиодом (Рисунок 3в) и вентиляторами (Рисунок 3г), а на вторых их концах расположены цанговые двухконтактные гнезда SIP2, являющиеся ответными к цанговому штырям PSLM-2, расположенным на плате устройства (Рисунок 2).

Кабель питания состоит из двух проводов МГТФ-0.3, кабели для термистора и светодиода – из двух проводов МГТФ-0.1, а кабели для вентиляторов – из тех же проводов, с которыми поставляются вентиляторы. Здесь необходимо отметить, что из вентилятора выходит кабель из трех проводов, который на конце имеет 3-х штырьковый разъем – гнездо HU-03 (Рисунок 4). Эти три провода маркиру-





**Рисунок 4.** Контакты вентилятора.

ются разными цветами: черный («земля»), красный (+12 В) и желтый – датчик числа оборотов вентилятора, предназначенный для его подключения к тахометру (Т). Этот провод не используется, а потому удаляется. Он может быть либо просто «откушен» кусачками в том месте, где он отходит от вентилятора, либо, что сделано автором, вообще отпаян от контакта, расположенного под липкой пленкой на корпусе вентилятора (ее край необходимо отлепить и после отпайки провода прилепить на место).

Светодиод целесообразно установить на лицевой поверхности корпуса усилителя или ИП в зависимости от того, где он используется, термистор прикрепляется к задней поверхности радиатора охлаждения (об этом подробно написано далее), вентиляторы укрепляются на радиаторах охлаждения (см.

далее), а кабель питания +14 В припаивается к проводам с напряжением питания усилителя или ИП. **РЛ**

## Литература

1. Кузьминов А. Усовершенствованный УМЗЧ на базе ИУ и мощных ОУ. Современная электроника. 2019. № 5.
2. Кузьминов А. Усовершенствованный двупольный стабилизатор на ОУ и мощных полевых транзисторах с токовой защитой и ультранизким уровнем пульсаций. РадиоЛоцман. 2019. № 3.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Мир. 1993.
4. Кузьминов А. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в любительских условиях. Радио. 2017. № 10.
5. Кузьминов А. Как использовать фольгу обратной стороны односторонней печатной платы в качестве общего провода. Радио. 2019. № 2.

## Материалы по теме

1. [Datasheet ON Semiconductor KA278RXXC](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM2940C](#)
3. [Datasheet ON Semiconductor NCS20071](#)
4. [Datasheet Texas Instruments OPA170](#)
5. [Datasheet Vishay SQD50N06](#)

## Загрузки

[Файл разводки платы в формате SprintLayout 6.0](#)



**Окончание в следующем номере**

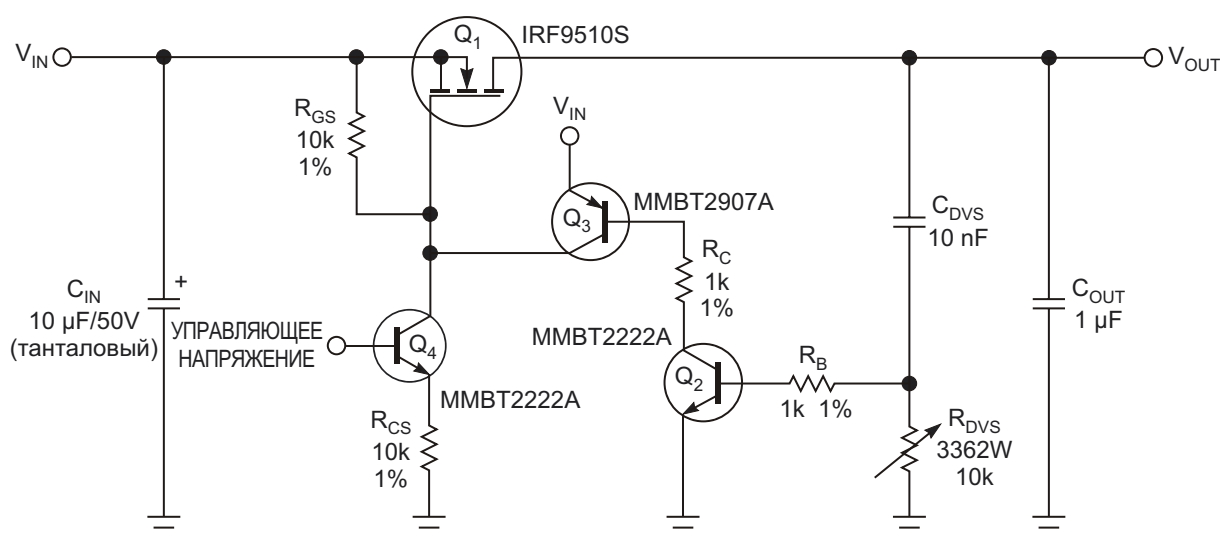
# Простая схема управляет скоростью изменения напряжения на нагрузке

Fabien Dubois

EDN

Представленная здесь схема позволяет установить хорошо контролируемую скорость изменения напряжения, часто выражаемую как дифференциал  $dV/dt$  (мгновенная скорость изменения напряжения в вольтах в секунду). Чувствительность можно изменять с помощью потенциометра. Скорость изменения устанавливается в диапазоне от 1 В/200 нс до 1 В/3 мс. Входное напряжение может изменяться от нескольких вольт до

30 В. Для расширения верхней границы входного напряжения можно использовать более высоковольтные транзисторы. Схема предварительно заряжает конденсатор медленным и управляемым  $dV/dt$ , чтобы не допустить большого броска тока при включении питания. В то же время, установив высокое значение  $dV/dt$ , можно использовать схему для проверки восприимчивости к помехам по питанию других схем.



**Рисунок 1.** Скорость изменения выходного напряжения этой схемы определяется управляющим напряжением и положением движка потенциометра  $R_{DVS}$ .

Для управления скоростью нарастания выходного напряжения в схеме использован P-канальный MOSFET  $Q_1$  (Рисунок 1). MOSFET управляется источником постоянного тока, образованным элементами  $Q_4$  и  $R_{CS}$ , который питает резистор  $R_{GS}$ , подключенный между затвором и истоком. Положительное управляющее напряжение, приложенное к базе  $Q_4$ , открывает транзистор. Его коллекторный ток создает падение напряжения на резисторе  $R_{GS}$ , включенном между затвором и истоком, и открывает его. Конденсатор  $C_{DVS}$  используется в схеме в качестве чувствительного устройства, измеряющего скорость изменения выходного напряжения. Изменения напряжения на  $C_{DVS}$  создают в нем ток, пропорциональный  $dV/dt$ :

$$I_{CS} = C_{DVS} \frac{dV_{OUT}(t)}{dt}.$$

Резистор  $R_{DVS}$  преобразует этот ток в сигнал напряжения. Когда уровень этого напряжения достигает приблизительно 0.67 В, открывается транзистор  $Q_2$ , который, в свою очередь, открывает  $Q_3$ . Ток, идущий через транзистор  $Q_3$  от входа, стремится снизить напряжение затвор-исток  $Q_1$  и уменьшает ток MOSFET. Для ограничения базового тока транзистора  $Q_2$  используется резистор  $R_B$ . В результате напряжение затвор-исток MOSFET смещается на плато Миллера, в область

постоянного тока на характеристической кривой полевого транзистора. Между выводами затвора и стока MOSFET существует внутренняя емкость Миллера  $C_{GD}$ . Источник постоянного тока схемы управляет током заряда емкости Миллера. Когда транзистор  $Q_3$  инжектирует ток в затвор, ток Миллера  $I_{GD}$  уменьшается, и, соответственно, уменьшается наклон выходного напряжения в соответствии со следующим выражением:

$$\frac{dV_{DS}(t)}{dt} = \frac{I_{GD}}{C_{GD}},$$

где  $V_{DS}$  – напряжение сток-исток.

Петля обратной связи поддерживает скорость изменения постоянной. Скорость изменения выходного напряжения является функцией напряжения база-эмиттер транзистора  $Q_2$  ( $V_{BEQ2}$ ), сопротивления  $R_{DVS}$  и емкости  $C_{DVS}$ :

$$\frac{dV_{OUT}(t)}{dt} = \frac{V_{BEQ2}}{R_{DVS} C_{DVS}}. \quad \text{РЛ}$$

## Материалы по теме

1. [Datasheet Vishay IFR9510S](#)
2. [Datasheet ON Semiconductor MMBT2222A](#)
3. [Datasheet ON Semiconductor MMBT2907A](#)

# Защита таймера 555 от ложных запусков

John Dawson

EDN

Схемы, основанные на популярном таймере 555, во многих случаях демонстрируют хорошую надежность. Однако когда вы используете их в среде с электрическими шумами, таймер может выдавать ложный сигнал запуска, независимо от того, насколько хорошо вы фильтруете шины его питания. Схема на Рисунке 1 посылает импульс в тиристорную схему автоматического шунтирования, когда цепь обнаружения неисправности выставляет на входе IN сигнал низкого

уровня. Микросхема таймера 555 не получает питания, пока не появится сигнал включения шунтирования. Сигнал низкого логического уровня устанавливает высокий потенциал на выходе элемента 74LS02 «ИЛИ-НЕ», выходного тока которого достаточно для работы таймера 555.

Таймер срабатывает при включении питания. Конденсатор  $C_2$  удерживает сигнал запуска на низком уровне до тех пор, пока он не зарядится до 5 В. Выход таймера 555 дол-

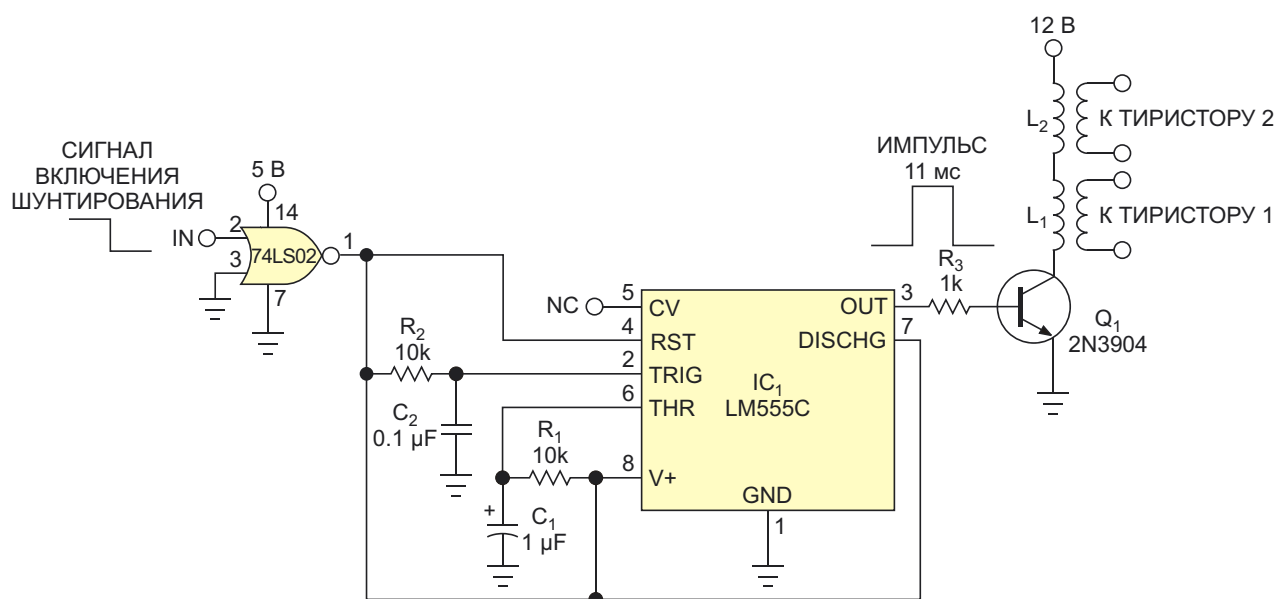


Рисунок 1. Питание таймера 555 от выхода логического элемента «ИЛИ-НЕ» исключает ложные срабатывания в среде с высоким уровнем помех.



жен управлять слаботочным устройством, в данном случае – транзисторным ключом. Эта схема решает проблему ложного срабатывания. Импульсные трансформаторы подключены к двум соединенным последовательно тиристорам, которые формируют импульсы амплитудой от 1600 до 2000 В, включающие схему автоматического шунтирования 22-киловольтового источника питания. Высоко-

вольтные источники питания, управляемые тиристорами, создают электрические помехи, вызывающие много ложных срабатываний в схеме таймера 555. **РЛ**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments LM555](#)
2. [Datasheet Texas Instruments SN74LS02](#)

# Как прочитать данные измерения индикатора часового типа и переслать эти данные на персональный компьютер



Михаил Гурович, США

**В** наши дни все большую популярность приобретают измерительные приборы с цифровой индикацией результатов измерений, например, цифровые штангенциркули, микрометры или индикаторы часового типа (ИЧТ). У большинства таких приборов есть порт для вывода данных на внешнее устройство для сохранения или анализа. Как правило, это последовательный интерфейс вывода, использующий линию данных DT и линию стробирующего сигнала CLK. При попытке прочтения такого сигнала обычным способом возникает проблема несовместимости, так как выводимые данные имеют



**Рисунок 1.** Механический ИЧТ при измерении амплитуды колебаний сонотрода.

нестандартные уровни напряжений и разные логические форматы.

В статье описывается один из способов чтения и передачи информации с ИЧТ на ПК.

В данном проекте ставилась задача автоматизации процесса измерения амплитуды вибрации рабочего конца сонотрода в установке для ультразвуковой сварки металлов. Во время сварки сонотрод совершает колебания с частотой около 20 кГц и амплитудой от 20 до 40 микрон.

Изначально для измерения амплитуды вибрации сонотрода использовался механический ИЧТ (Рисунок 1). Во время сварки отмечалось максимальное отклонение стрелки, и затем из этого значения вычиталось показание прибора в состоянии покоя.



**Рисунок 2.** Электронный ИЧТ типа ClockwiseTools DITR-0105.

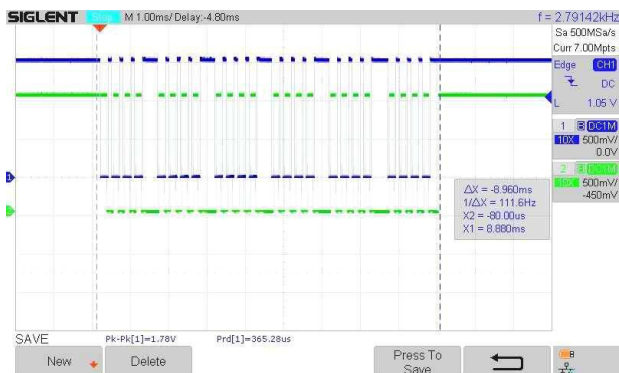


Рисунок 3. Один полный пакет данных ИТЧ.

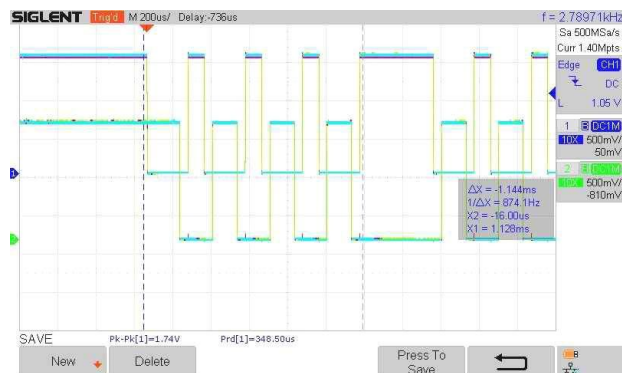


Рисунок 5. Несколько бит данных на выходе ИТЧ.



Рисунок 4. Несколько пакетов данных на выходе ИТЧ.

Разница этих двух значений и равна амплитуде колебаний сонотрода.

В данном проекте был использован цифровой ИЧТ типа ClockwiseTools DITR-0105,

показанный на Рисунке 2. Прибор имеет ЖКИ для отображения результатов измерения и последовательный интерфейс для вывода данных. В процессе работы с ИЧТ выяснилось, что выходной порт имеет три линии – землю GRND, линию данных DT и линию синхронизации CLK. Осциллограммы сигналов на этих линиях показаны на Рисунках 3, 4 и 5.

При анализе стало ясно, что для передачи этой информации в ПК требовалось решить две проблемы:

- Преобразовать нестандартные уровни выходных сигналов ИЧТ (низкий – 0 В, высокий – 1.5 В) в уровни ТТЛ.
- Декодировать выходные данные, представленные в неизвестном формате, и преобразовать их в формат, пригодный для передачи в ПК, например RS-232.

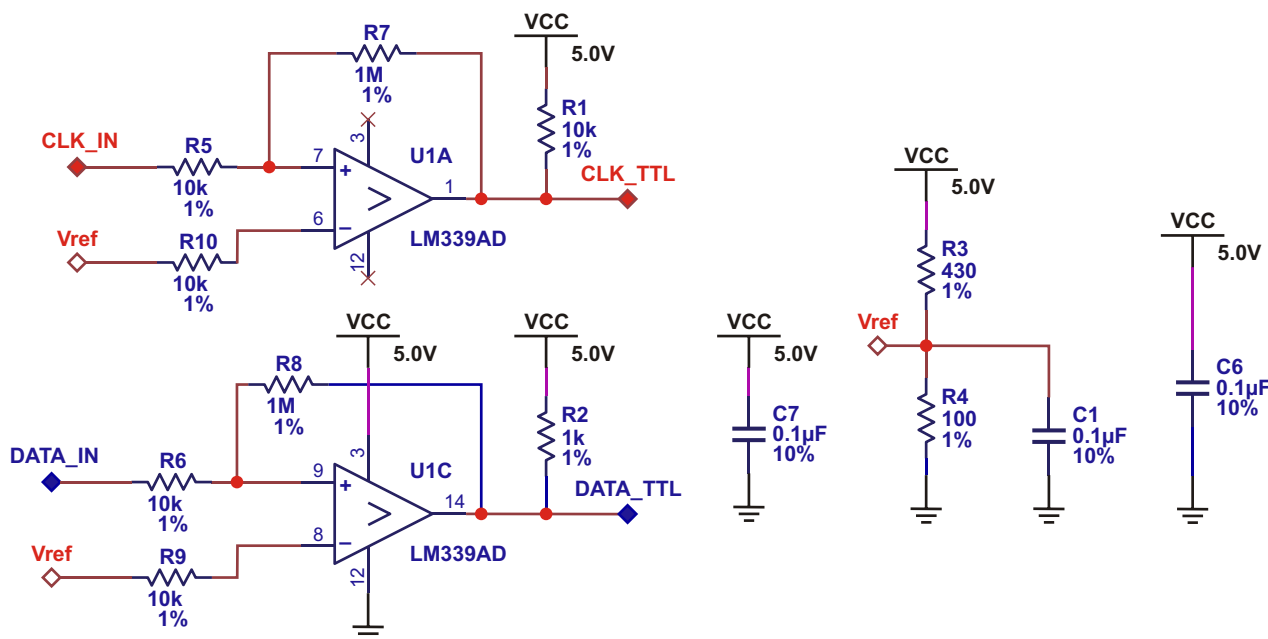


Рисунок 6. Аналоговая часть проекта.

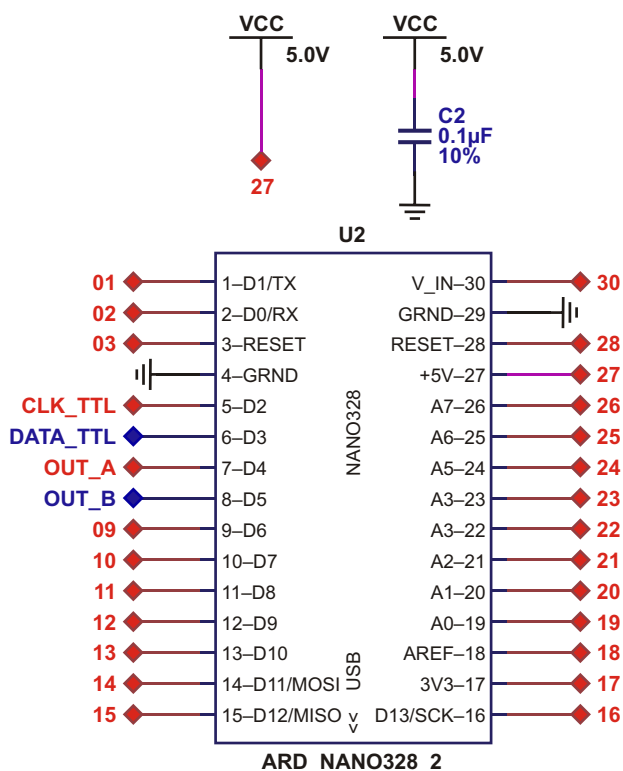


Рисунок 7. Микропроцессор Arduino Nano.

Первая проблема была решена с помощью преобразователя уровней, формирующего сигналы TTL для подачи их на цифровые входы микроконтроллера (МК).

Для решения второй проблемы используется МК (Arduino Nano), который принимает TTL сигналы, обрабатывает их и формирует выходные данные в формате RS-232. (Точнее, логический формат выходных данных – это RS-232, но физически сигналы поступают на вход ПК через стандартный порт USB).

Сначала остановимся подробнее на первой проблеме. Как уже отмечалось выше,

входные сигналы имеют уровни 0 и 1.5 В. Для формирования сигналов TTL уровня была применена схема на основе компаратора LM339 (использовались два канала из четырех). Один канал обрабатывает сигнал DT, второй – CLK. Принцип работы схемы прост – на отрицательные входы обоих компараторов подается опорное напряжение величинной примерно +1 В. На положительные входы поступают сигналы с ИЧТ. Выходы компаратора повторяют изменения входных сигналов, но уже с уровнями TTL. Эти выходные TTL сигналы подаются на цифровые входы МП для дальнейшей обработки.

Электроника проекта условно разделена на три блока. Их схемы изображены на Рисунках 6, 7 и 8. Печатная плата показана на Рисунке 9, а внешний вид – на Рисунке 10. Файлы Gerber можно скачать по ссылке в конце статьи.

Заметим, что в проекте есть несколько компонентов, которые в данной версии не используются и включены в схему только для будущего использования. Это третий и четвертый компараторы (U1B и U1D), а также резисторы R12 ... R19.

Кроме того, в проект добавлен второй МК, чтобы иметь на печатной плате дубликаты всех выводов микроконтроллера для удобства отладки.

Все эти дополнительные компоненты являются частью проекта печатной платы и файлов Gerber, но в данном проекте не используются и не устанавливались.

Обработка входных сигналов и формирование выходных данных в формате RS-232 была выполнена с использованием Arduino Nano и программы на языке C++.

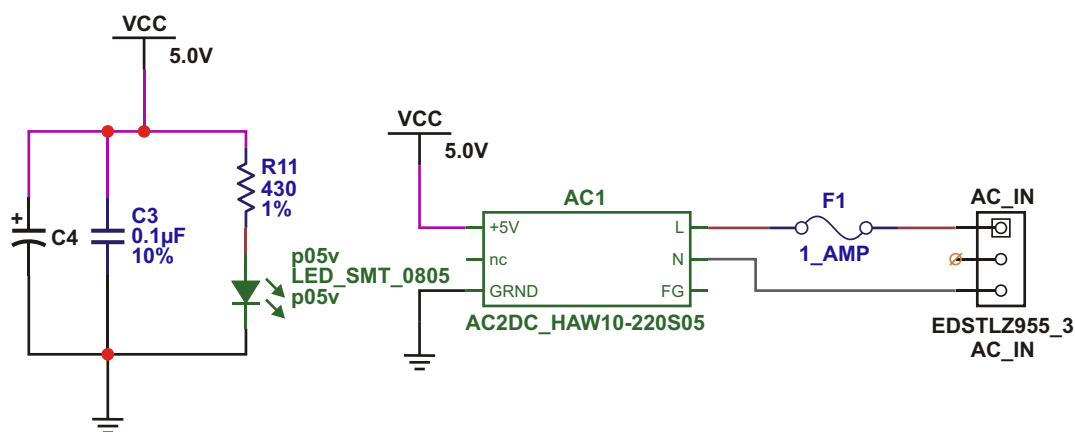
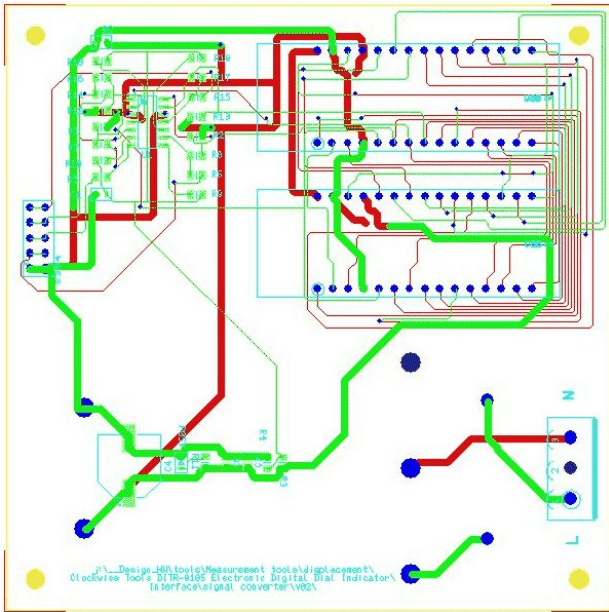
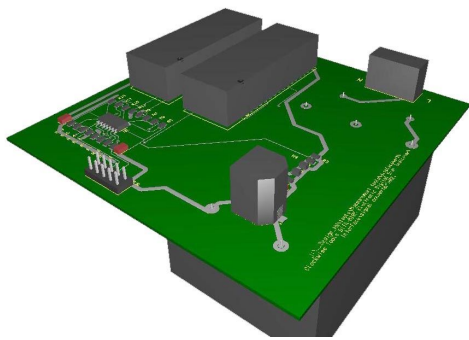


Рисунок 8. Источник питания проекта.





**Рисунок 9.** Печатная плата проекта (верхний слой зеленый, нижний – красный).



**Рисунок 10.** Трехмерная модель модуля.

## Описание алгоритма и программы

Как уже было отмечено выше, МП должен выполнить две задачи:

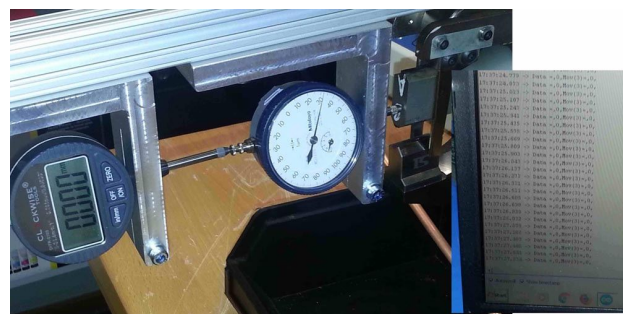
- Декодировать входные импульсы;
- Сформировать данные для передачи на ПК.

При анализе входных импульсов выяснилось следующее:

- Данные поступают в последовательном коде;
- Пакеты поступают с частотой примерно 10 Гц;
- Длина одного пакета 9 мс;
- Чтение линии DT происходит по переднему фронту сигнала CLK;
- Биты собраны в группы по 4, и таких групп в пакете 6; таким образом, полный пакет данных содержит 24 бита;



**Рисунок 11.** Измерительная установка в сборе.



**Рисунок 12.** Проект в действии: измерения отклонения и данные на экране ПК.

- Младший бит приходит первым, старший – последним;
- Первые 16 бит содержат двоичный код результата измерения, последние 8 бит содержат информацию о знаке результата (бит 20) и о единицах измерения (бит 23).

Заметим, что в данной версии программы информация о единицах измерения не обрабатывается, так как предполагается, что ИЧТ работает в метрической системе.

МП постоянно проверяет состояние входа CLK, и как только поступает импульс, МП читает состояние линии DT и сохраняет прочитанное значение в буфере данных размером в 24 байта.

После каждого прочтенного импульса запускается таймер ожидания. Если после последнего принятого импульса прошло время, большее, чем заданное, последний принятый импульс считается последним в предыдущем пакете, а следующий принятый импульс будет считаться первым в следующем пакете. Такой алгоритм позволяет определить начало и конец данных, начиная с любой временной точки, и приводит к потере только

самого первого пакета. Все последующие пакеты, начиная со второго, принимаются и декодируются без проблем.

Итак, как только МП обнаружил, что пришел последний пульс в пакете, выполняется следующая последовательность действий:

- Содержимое буфера реверсируется (порядок битов меняется на стандартный: старший слева, младший справа);
- Младшие 16 бит преобразуются из двоичного в десятичный формат;

- Декодируется знак числа (бит 20);
- Формируется число со знаком;
- Это число посылается на ПК, используя порт USB и протокол RS-232;
- Буфер обнуляется для приема следующего пакета.

Результаты реализации проекта показаны на Рисунках 11 и 12. [РЛ](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments LM339-N](#)

## Загрузки

<a href="#">Файлы Gerber</a>	
<a href="#">Исходный код программы на C++</a>	
<a href="#">Перечень компонентов схемы</a>	

## ОКО Архив АВТО GPS/GSM

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

### ОКО Мобайл 3G

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



### ВИДЕОРЕГИСТРАТОРЫ СЕРИИ “ОКО АРХИВ”

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

#### ОКО Архив 4NET

подключение по LAN/internet  
сменный жесткий диск

#### ОКО Архив 4NET LE

подключение по LAN/internet  
встроенный жесткий диск

#### ОКО Архив LITE CF

запись на карту Compact Flash

## ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ



“Децима”

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

тел: +7 (495) 988 48 58

<http://www.decima.ru>

# Схема активного фильтра для исследования выходного сигнала усилителя класса D

John Guy, Maxim Integrated

EDN

Растущее признание усилителей класса D помогло им потеснить на рынке своих линейных собратьев класса AB. Это признание не вызывает удивления; преимуществ у усилителей класса D – легион, однако такие уси-

тели также требуют новых методов оценки. Например, рассмотрим основополагающий синусоидальный тест линейного усилителя. Вы подаете питание, прикладываете к входу синусоидальный сигнал подходящей ампли-

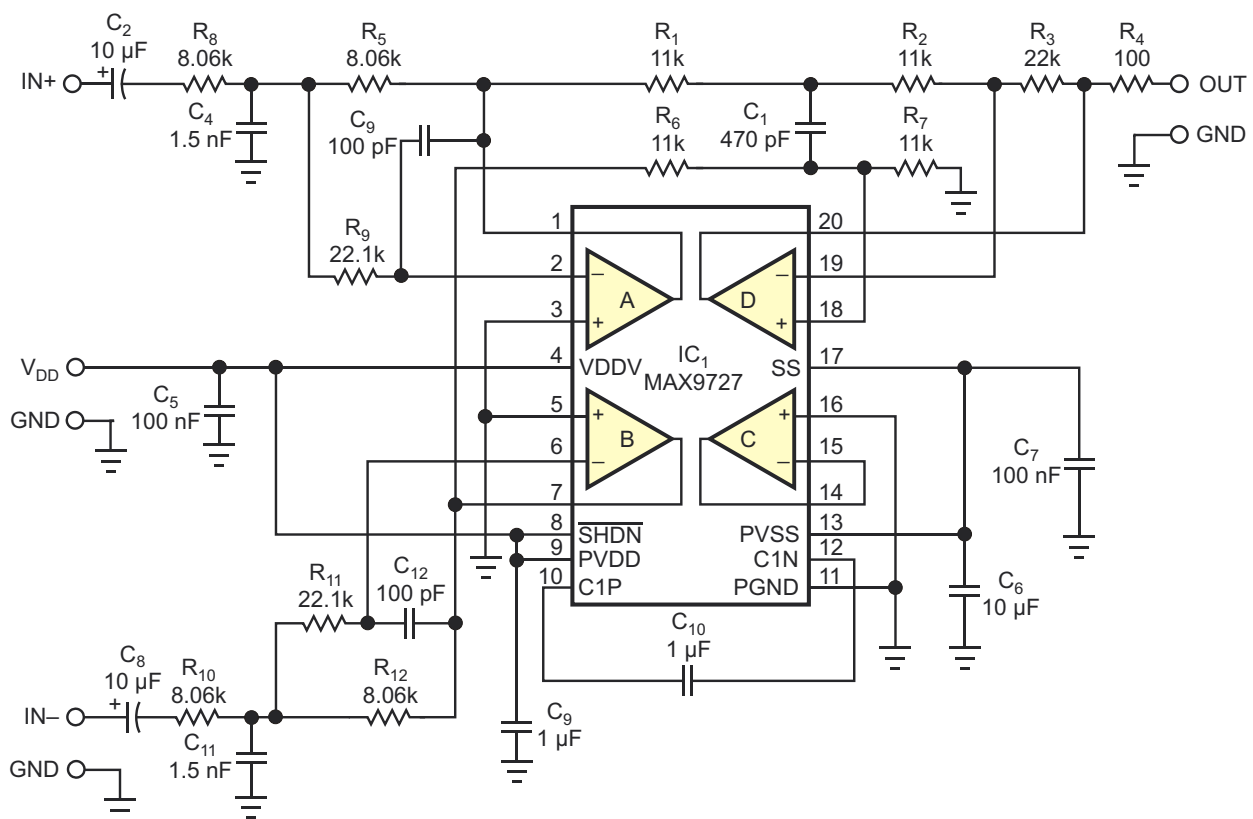


Рисунок 1. Использование фильтра третьего порядка с частотой среза 30 кГц позволяет наблюдать выходной сигнал усилителя класса D с помощью осциллографа.



туды и подключаете к выходу щуп осциллографа. Вы увидите точную копию входа, обычно смещенную примерно на половину напряжения источника питания. Даже если линейный усилитель управляет нагрузкой, подключенной к мосту, вы все равно увидите узнаваемую копию входа на любом конце нагрузки, хотя и половинного уровня.

Тестирование усилителей класса D сопряжено с большими трудностями. На выходе усилителя формируется ШИМ сигнал, переключающийся между землей и напряжением питания на частоте, которая обычно находится между 200 кГц и 2 МГц. Однако когда вы просматриваете этот выход ШИМ на осциллографе, вы не видите никакого сходства с синусоидальным входом.

Схема фильтра, изображенная на Рисунке 1, позволяет наблюдать выходной сигнал аудиоусилителя класса D. Основанная на счетверенном аудио драйвере Maxim MAX9727 (IC1), схема объединяет отдельные несимметричные фильтры – по одному для каждой фазы выходов полумостов – с третьим усилителем, который обеспечивает разностный сигнал и дополнительную фильтрацию. Первый каскад каждой секции несимметричного фильтра вносит комплексно сопряженную пару полюсов 30-кГц фильтра Баттерворта третьего порядка с множественной обратной связью, для проектирования которого имеется множество рекомендаций и формул. Каждая секция фильтра третьего порядка содержит комплексно-сопряженную пару полюс-ноль и один вещественный полюс.

Чтобы улучшить согласование между путями прохождения сигналов, два отдельных фильтра с множественной обратной связью имеют общий вещественный полюс, создаваемый конденсатором  $C_1$  емкостью 470 пФ и 11-килоомными резисторами  $R_1$  и  $R_6$ . Схема использует этот полюс как разностный усилитель, тем самым, создавая отфильтрованный выходной сигнал, представляющий собой

несимметричную версию выходов мостового усилителя. Сигнальные пути фильтров представляют импедансы 5.5 кОм для каждого из входов секций А и В усилителя. Внимательно посмотрев на схему, можно увидеть, что равный 5.5 кОм импеданс цепи между выходом секции В усилителя и конденсатором  $C_1$  включает в себя эквивалентное сопротивление Тевенина резисторов  $R_6$  и  $R_7$ . Аналогично, импеданс цепи между выходом секции А усилителя и конденсатором  $C_1$ , также равный 5.5 кОм, включает в себя эквивалентное сопротивление Тевенина резисторов  $R_1$  и  $R_2$ . Обратите внимание, что виртуальная земля инвертирующего входа усилителя D эффективно заземляет резистор  $R_2$ .

Согласованные резисторы ослабляют сигналы на обоих дифференциальных входах усилителя D на 6 дБ. (Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  – на входе IN+, резисторы  $R_6$  и  $R_7$  – на входе IN–). 22-килоомный резистор обратной связи  $R_3$  устанавливает усиление усилителя D, равным двум, определяя единичную передаточную функцию в полосе пропускания схемы. Выход схемы, несимметричный относительно земли, позволяет использовать землю осциллографа также в качестве земли выходного сигнала. Версия этой схемы, основанная на традиционных операционных усилителях, потребовала бы источника отрицательного напряжения питания, но MAX9727 уже содержит источник отрицательного напряжения, которое генерируется его внутренней схемой зарядового насоса. Если схема работает от источника питания 5 В, уровень ее выходного сигнала превышает 2.5 В с.к.з. Хотя ее фильтр третьего порядка не подходит для точных измерений искажений или шумов, схема может служить отличным инструментом для поиска неисправностей и оценки схем усилителей класса D и проверки их выходов на осциллографе. **РЛ**

## Материалы по теме

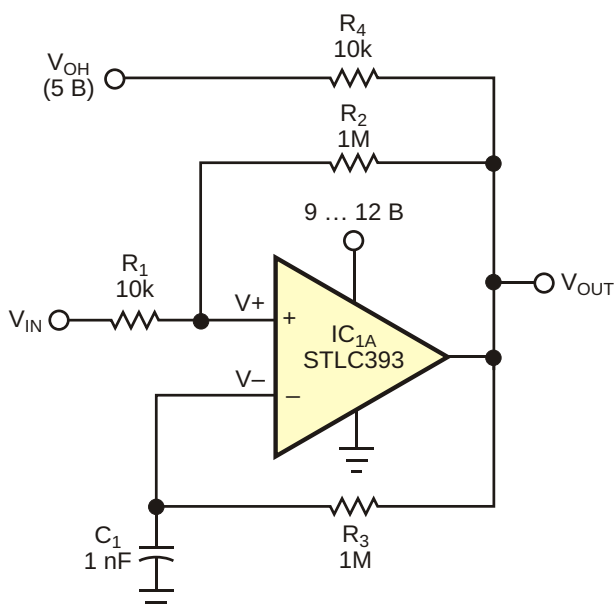
1. [Datasheet Maxim Integrated MAX9727](#)

# Схема ШИМ на операционном усилителе

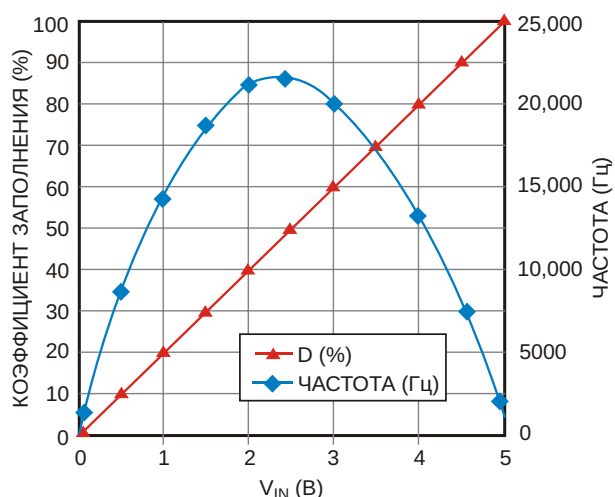
Ferran Bayes

EDN

Эта схема напоминает схему, описанную в [1], но отличается от нее большей простотой. Схема формирует прямоугольные импульсы, коэффициент заполнения которых изменяется между 0 и 100% в соответствии с входным сигналом постоянного напряжения, изменяющимся от 0 до 5 В (Рисунок 1). Как и в вышеупомянутой схеме, частота не постоянна (Рисунок 2), но схема настолько проста, что в определенных приложениях может быть полезна. Благодаря гистерезису, создаваемому резистором  $R_2$ , и

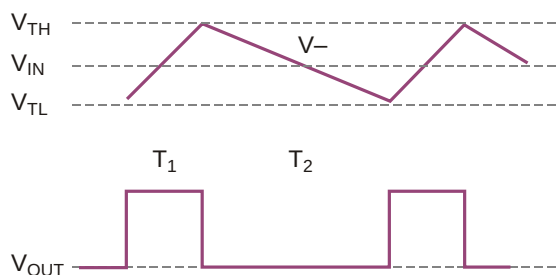


**Рисунок 1.** Эта управляемая напряжением схема ШИМ является воплощением простоты.



**Рисунок 2.** Зависимость частоты выходного сигнала от входного напряжения имеет нелинейный характер.

RC-цепочке с постоянной времени  $R_3C_1$ , компаратор превращается в генератор прямоугольных импульсов (Рисунок 3). Напряжение  $V_-$  на инвертирующем входе колеблется между двумя пороговыми уровнями  $V_{TH}$  и  $V_{TL}$ . Если предположить, что  $R_2 \gg R_1$ , то напряжение  $V_+$  всегда будет очень близким к  $V_{IN}$ . Цепь  $R_3C_1$  усредняет выходной сигнал  $V_{OUT}$ , а постоянное напряжение на входе  $V_-$  пропорционально коэффициенту заполнения  $V_{OUT}$ . Замкнутая петля обратной связи стремится сделать напряжение  $V_-$  равным  $V_+$ , поэтому коэффициент заполнения импульсов на выходе  $V_{OUT}$  пропорционален  $V_{IN}$ .



**Рисунок 3.** Напряжение на инвертирующем входе изменяется линейно.

Напряжение  $V_{OH}$  определяет как высокий уровень выходного сигнала, так и диапазон полной шкалы управляющего напряжения  $V_{IN}$ . Оно может иметь любое значение, не выходящее из диапазона допустимых синфазных входных напряжений компаратора. Математический анализ схемы будет прост, если, учитывая, что разность  $V_{TH} - V_{TL}$  мала, экспоненциальную характеристику заряда и разряда  $C_1$  аппроксимировать линейной зависимостью. Во время фазы заряда ток приблизительно равен  $(V_{OH} - V_{IN})/3$ , поэтому:

$$V_{TH} - V_{TL} = \frac{(V_{OH} - V_{IN})T_1}{R_3 C_1}.$$

Аналогично, во время фазы разряда можно считать, что ток равен  $V_{IN}/3$ , и

$$V_{TH} - V_{TL} = \frac{V_{IN} T_2}{R_3 C_1}.$$

Сопоставление двух уравнений дает

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_{OH} - V_{IN}}{V_{IN}},$$

и коэффициент заполнения  $D$  равен

$$D = 100 \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 100 \frac{1}{1 + \frac{T_2}{T_1}} = 100 \frac{V_{IN}}{V_{OH}}.$$

Можно видеть, что коэффициент заполнения прямо пропорционален  $V_{IN}$ . При  $V_{IN} = 0$  В он равен 0%, а при  $V_{IN} = V_{OH}$  равен 100%. Более того, коэффициент заполнения по существу не зависит от номиналов компонентов, при соблюдении ограничения  $R_2 \gg R_1$ , необходимого для того, чтобы гистерезис оставался небольшим. Обратная зависимость между коэффициентом заполнения и  $V_{OH}$  может быть полезна в некоторых приложениях, поэтому  $V_{OH}$  можно рассматривать как дополнительный вход. Выходная частота соответствует соотношению

$$f = \frac{(R_1 + R_2)(V_{OH} - V_{IN} - V_{IN}^2)}{R_3 C_1 V_{OH}^2 R_1},$$

достигая своего максимума при  $V_{IN} = V_{OH}/2$ .

Сравнительные испытания схемы с КМОП компаратором TLC393 и биполярным LM393 показали, что с TLC393 схема лучше работает при низких входных напряжениях  $V_{IN}$  благодаря более низкому уровню нуля на выходе. Не допускайте перегрузки выхода компаратора; используйте при необходимости буфер, поскольку нагрузка может ухудшать уровни выходных сигналов. **РЛ**

## Ссылки

1. [Low-power PWM circuit is simple, inexpensive](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments TLC393](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM393](#)

# Генератор зашумленной синусоиды на основе звуковой карты

José M Miguel

EDN

Для проверки схем шумоподавления, ФАПЧ и аудиочастотных фильтров может потребоваться синусоидальный сигнал с добавленным белым шумом. Используя обычную компьютерную звуковую карту, бесплатную программу и внешнюю схему усилителя, вы можете создать зашумленный синусоидальный сигнал.

Бесплатная программа Generatosaur компании Wavosaur [1] превращает вашу звуковую карту в звуковой генератор. Она позволяет независимо выбирать амплитуду, частоту и вид сигнала для левого и правого каналов. Пользовательский интерфейс программы Generatosaur представляет собой управляющую панель в стиле диалогового окна (Рисунок 1). Если выбрать синусоидальный сигнал

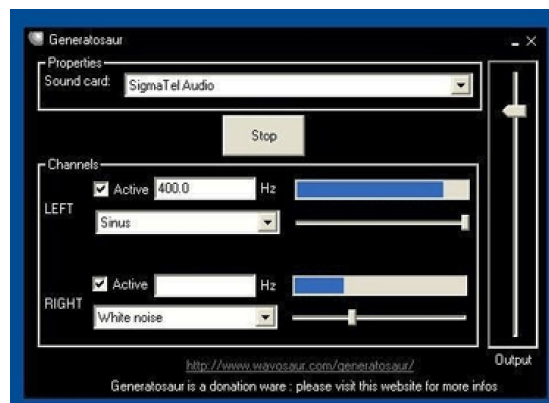


Рисунок 1. Интерфейс пользователя программы Generatosaur представляет собой управляющую панель в виде диалогового окна.

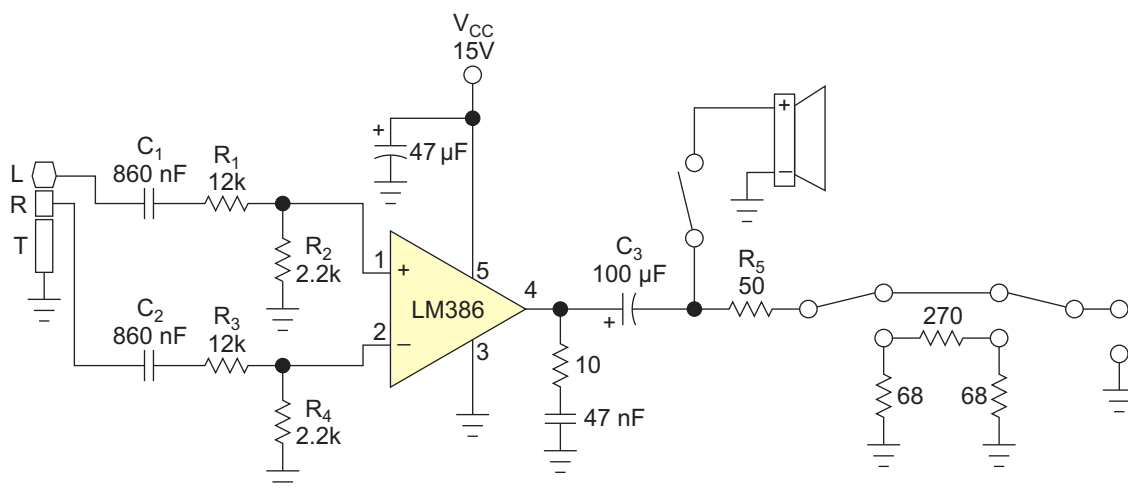


Рисунок 2. Бесплатная программа Generatosaur превращает вашу звуковую карту в генератор звуковых частот.



для левого канала и белый шум для правого, вам останется только воспользоваться усилителем, чтобы сложить эти сигналы. Полная схема изображена на Рисунке 2.

В качестве дифференциального усилителя использован мощный усилитель звуковых частот LM386 с напряжением питания 15 В. Выходное напряжение покоя LM386 автоматически устанавливается на уровне половины напряжения питания, что требует разделительного конденсатора С3. Резистором R5 устанавливается выходное сопротивление 50 Ом.

Поскольку диапазон выходных напряжений стандартной звуковой карты составляет 0 ... 2 В, на входах схемы необходимо использовать делители напряжения R1/R2 и R3/R4. Принимая во внимание, что усиление LM386

внутренне установлено равным 20, а диапазон его выходных напряжений составляет 7 В, на каждом входе усилителя необходим коэффициент ослабления  $7/(2 \times 20)$ . В схему добавлен также отключаемый аттенюатор 20 дБ, который можно задействовать с помощью двух двухполюсных двухпозиционных переключателей.

Если вам нужно прослушать генерируемый зашумленный сигнал, подключите динамик к выходу LM386. **PL**

## Ссылки

1. [Generatosaur – генератор звуковых частот](#)

## Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments LM386](#)

# Фильтр опорного напряжения улучшает отношение сигнал/шум 32-битного АЦП на 6 дБ

Guy Hoover, Analog Devices

Design Note 568

Для достижения оптимального отношения сигнал/шум на выходе АЦП недостаточно лишь подать на его вход сигнал с низким уровнем шума. Не менее важно обеспечить низкий шум источника опорного напряжения (ИОН). Если в нижней части шкалы входных напряжений шумы ИОН не оказывают влияния на выходной сигнал, то при полной шкале любой шум источника опорного напряжения будет виден в выходном коде. Вот почему динамический диапазон определенного АЦП, измеренный в начале шкалы, обычно на несколько децибел лучше, чем отношение сигнал/шум, измеренное в конце шкалы или около него. Обеспечение низкого шума ИОН имеет особенно большое значение в прило-

жениях передискретизации, где отношение сигнал/шум АЦП может превышать 140 дБ. Для достижения таких значений отношения сигнал/шум даже самым лучшим источникам опорного напряжения потребуется определенная помощь, чтобы снизить уровни их шумов.

Есть несколько альтернатив, способных уменьшить шум опорного источника. Увеличение емкости блокировочного конденсатора на выходе ИОН или использование простого RC-фильтра нижних частот не могут быть хорошими альтернативами. Блокировочный конденсатор большой емкости на выходе опорного источника сам по себе не способен обеспечить достаточно низкую частоту сре-

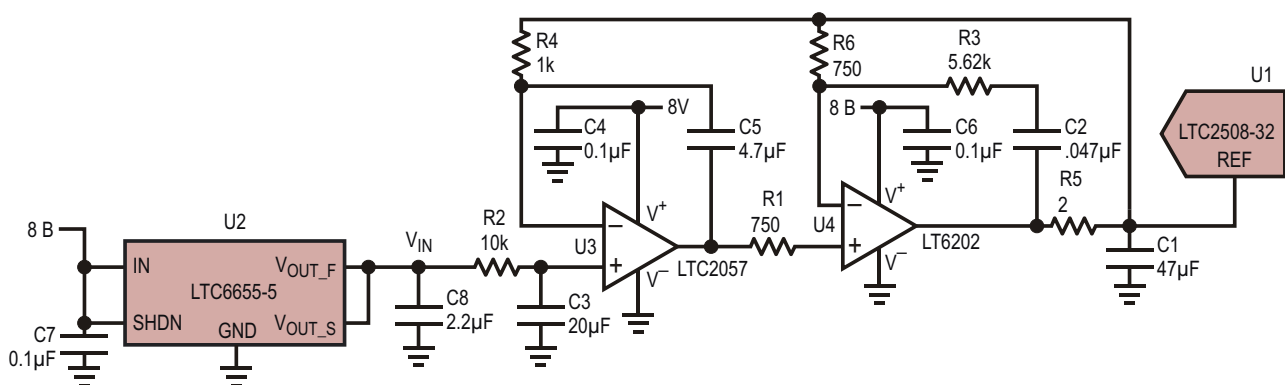


Рисунок 1. Фильтрация выходного напряжения LTC6655 увеличивает отношение сигнал/шум 32-битного АЦП LTC2508-32 на 6 дБ.

**Таблица 1.** Сравнение отношений сигнал/шум АЦП LTC2508-32 для случаев, когда вывод REF подключен к выводу LTC6655-5 непосредственно и через фильтр, показанный на Рисунке 1

Коэффициент децимации	Динамический диапазон (дБ) Начало шкалы LTC6655-5	Отношение сигнал/шум (дБ) Полная шкала LTC6655-5	Отношение сигнал/шум (дБ) Полная шкала LTC6655-5 с фильтрацией	Разность отношений сигнал/шум с фильтрацией и без (дБ) Полная шкала LTC6655-5
256	131.4	23.6	129.3	5.7
1024	137.1	129.7	35.8	6.1
4096	142.9	135.2	140.7	5.5
16384	148.0	140.7	145.2	4.5

за, чтобы эффективно воздействовать на шум. Пассивный RC-фильтр может обеспечить низкую частоту среза, но его выходное напряжение будет зависеть от частоты дискретизации и температуры. Эффективной альтернативой было бы параллельное объединение выходов нескольких маломощных опорных источников, но этот вариант дорог и потребляет много энергии.

Описанный здесь фильтр, при умеренной стоимости и небольшом энергопотреблении, вырабатывает опорное напряжение с низким уровнем шума без существенного ухудшения точности или температурного коэффициента ИОН.

## Описание схемы

В этом примере используется АЦП LTC2508-32 (U1). LTC2508-32 представляет собой маломощный малопотребляющий 32-битный АЦП последовательных приближений с цифровым фильтром нижних частот, коэффициент децимации которого может иметь четыре значения от 256 до 16384, выбираемых выводами микросхемы. Чтобы в полном объеме реализовать характеристики LTC2508-32, заявленные изготовителем микросхемы, необходим источник опорного напряжения с низким уровнем шумов и низким температурным дрейфом.

В качестве источника опорного напряжения в этом примере использована микросхема LTC6655-5 (U2). LTC6655-5 обеспечивает высокую точность (максимальная ошибка  $\pm 0.025\%$ ) и исключительно низкие значения шумов (типовое значение 0.67 ppm с.к.з.) и дрейфа (не более 2 ppm/°C). Но даже при столь исключительных шумовых характеристиках LTC6655-5 все равно ухудшит отношение сигнал/шум АЦП LTC2508-32.

LTC2057 (U3) – это операционный усилитель с нулевым дрейфом и подавленным фликкер-шумом (1/f). Входной ток смещения LTC2057 составляет менее 200 пА, максимальное напряжение смещения равно 4 мкВ, а температурный коэффициент напряжения смещения не превышает 0.015 мкВ/°C. Это значительно меньше, чем температурный коэффициент микросхемы LTC6655-5 (2 ppm/°C = 10 мкВ/°C).

Маломощный операционный усилитель LT6202 (U4) отличается быстрым установлением и большой перегрузочной способностью, необходимой для зарядки блокировочного конденсатора 47 мкФ, который, согласно техническому описанию, должен быть подключен к выводу REF микросхемы LTC2508-32.

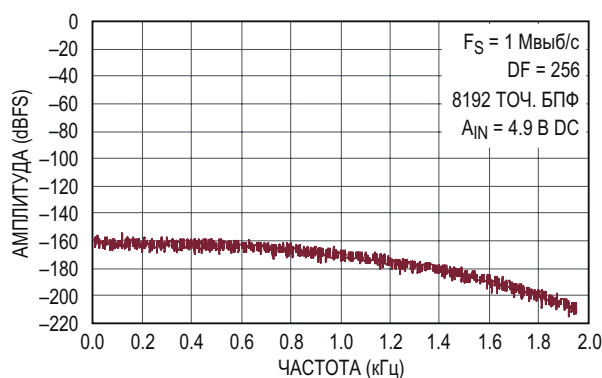
В схеме на Рисунке 1 выходное напряжение опорного источника U2 фильтруется элементами R2 и C3, образующим фильтр нижних частот с частотой среза 0.8 Гц. Конденсатор C3 должен быть пленочным. Танталовые и алюминиевые электролитические конденсаторы имеют большие утечки, которые создадут напряжение смещения на резисторе R2. Керамическим конденсаторам присущ микрофонный эффект, увеличивающий низкочастотные шумы. Отфильтрованное выходное напряжение буферизуется усилителем U3 с высоким входным напряжением. При максимальном токе смещения микросхемы U3, равном 200 пА, наибольшее падение напряжения на резисторе R2 составляет всего 2 мкВ. Обусловленная этим ошибка, с учетом напряжения смещения микросхемы LTC2057, не превышает 6 мкВ, что относительно незначительно по сравнению с максимальной начальной погрешностью LTC6655-5, равной 0.025% (1.25 мВ). U3 и U4 образуют составной усилитель, низкое сме-

щение, низкий температурный дрейф и подавленный шум  $1/f$  которого обусловлены микросхемой LTC2057, а быстрое установление – микросхемой LT6202. Вывод REF микросхемы U1 разряжает конденсатор C1 со скоростью, зависящей от частоты выборки и выходного кода. Чтобы поддерживать фиксированное напряжение на выводе REF, усилитель U4 этот заряд должен пополнять. Резистор R5 используется для изоляции выхода U4 от конденсатора C1, чтобы улучшить установление напряжения на выводе REF. Физически более крупные керамические конденсаторы с более высокими рабочими напряжениями и температурами имеют более низкие коэффициенты напряжения, обеспечивая более высокую эффективную емкость. По этой причине в качестве C1 должен использоваться конденсатор X7R типоразмера 1210 с допустимым напряжением 10 В.

## Характеристики схемы

Как видно из Таблицы 1, поведение LTC2508-32 практически соответствует теории, демонстрируя расширение динамического диапазона почти на 6 дБ для каждого четырехкратного увеличения коэффициента децимации при соединенных входах АЦП и выводе REF, управляемом непосредственно от LTC6655-5. Дополнительно в Таблице 1 показано, что в начале шкалы АЦП отношение сигнал/шум по сравнению с динамическим диапазоном меньше на целых 7.8 дБ, если использовать LTC6655-5 для непосредственного управления выводом АЦП REF. Это связано с шумом источника опорного напряжения. Использование схемы, показанной на Рисунке 1, для управления выводом REF микросхемы LTC2508-32, как следует из Таблицы 1, улучшает отношение сигнал/шум до 6.1 дБ.

Операционные усилители, стабилизированные прерыванием, такие как LTC2057, часто создают помехи на частоте прерывания и нечетных гармониках. Используемая в LTC2057 схема подавляет эти артефакты до уровня, лежащего значительно ниже ее напряжения смещения. Эта схема в сочетании с собственным фильтром АЦП устраняет



**Рисунок 2.** Шумовой порог вблизи верха шкалы показывает отсутствие паразитных пиков при использовании схемы Рисунок 1 для управления выводом REF.

$F_S$  – частота выборки,  
 $DF$  – коэффициент децимации,  
 $A_{IN}$  – входное напряжение.

любые видимые помехи с частотой прерывания операционного усилителя, что подтверждается графиком шумового порога на Рисунке 2. График на Рисунке 2 получен в результате усреднения пяти выборок данных, чтобы сгладить шумовой порог и попытаться выявить даже самые незначительные следы любых паразитных тонов.

## Заключение

Была продемонстрирована схема фильтра, способного снизить выходной шум опорного источника без ущерба для его точности или температурного коэффициента при умеренной стоимости и небольшом потреблении энергии. Подключение выхода этой схемы к выводу опорного напряжения микросхемы LTC2508-32 – 32-разрядного малозумящего АЦП – улучшило отношение сигнал/шум, в зависимости от коэффициента децимации, на величину до 6.1 дБ по сравнению с вариантом, когда выход ИОН подключается непосредственно к опорному входу АЦП. **PL**

## Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LT6202](#)
2. [Datasheet Linear Technology LTC2057](#)
3. [Datasheet Linear Technology LTC2508-32](#)
4. [Datasheet Linear Technology LTC6655](#)





# РАДИОЛОЦМАН

Журнал для тех, кто интересуется электроникой

Если Вам  
небезразличны темы:

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

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

**приглашаем к сотрудничеству!**

# РАДИОЛОЦМАН.ЖУРНАЛ

Приложение для мобильных устройств (планшетов и смартфонов)



ANDROID »  
GOOGLE PLAY



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



IOS (IPHONE, IPAD) »  
APP STORE



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

Устанавливайте приложение и скачивайте!  
Доступен весь архив номеров журнала.