

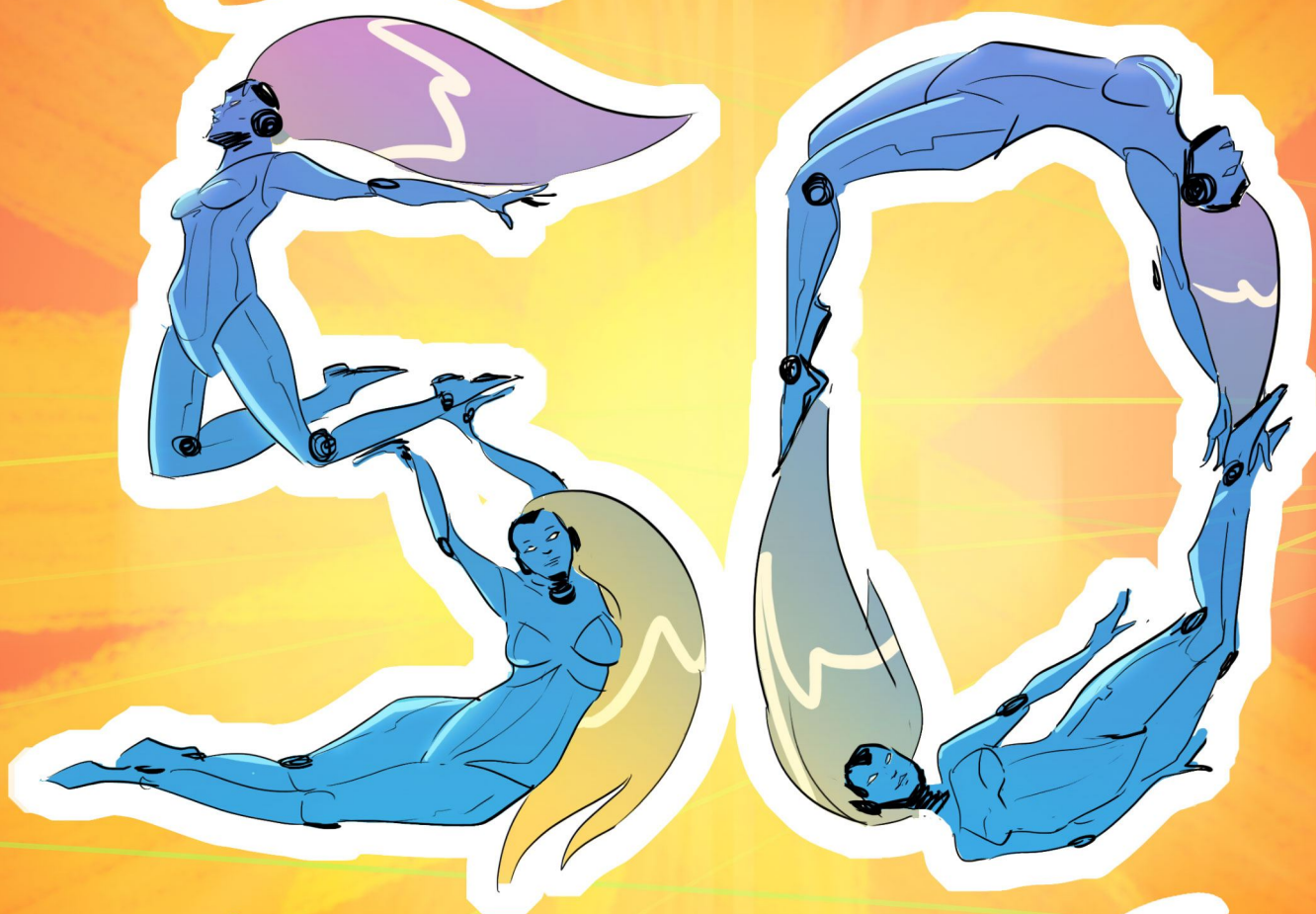


Журнал для тех, кто интересуется электроникой

РАДИОЛОЦМАН

Июль 2015 (50)

Есть



Юбилейный номер



РАДИОЛОЦМАН.ЖУРНАЛ

www.rlocman.ru/magazine

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

РАДИОЛОЦМАН.ФОРУМ

www.rlocman.ru/forum

Обсуждайте статьи и новости, общайтесь!
Приглашаем профессионалов.

РАДИОЛОЦМАН.ЦЕНЫ

www.rlocman.ru/price

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

РАДИОЛОЦМАН.СОЦ.СЕТИ

Обновления в привычном формате.



vk.com/rlocman



facebook.com/rlocman



odnoklassniki.ru/rlocman



twitter.com/rlocman

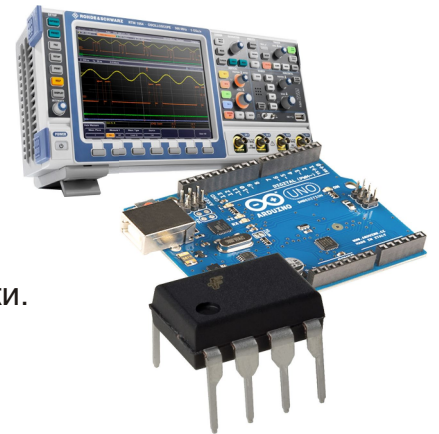


google.com/+RlocmanRuPlus

И еще многое другое на портале:

РАДИОЛОЦМАН. ...

www.rlocman.ru



Главный редактор:

А. Николаев

Над номером
работали:

В. Колесник
С. Муратчаев
А. Николаев
Н. Радунцева
М. Русских
Д. Скорынин

Обложка:

А. Кравчук

Директор:

С. Муратчаев

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

rlocman@rlocman.ru

+7 (495) 721-72-14

www.rlocman.ru

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

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

Мнения авторов не всегда отражают точку зрения редакции.

Оформление
бесплатной подписки:

www.rlocman.ru/magazine

Новости

- 4 «Конструкторский углерод» поднимет характеристики аккумуляторов на новый уровень
- 4 STMicroelectronics первой начала производство микроконтроллеров с новым ядром ARM Cortex-M7
- 6 Новые микросхемы Microchip с технологией FlexConnect расширяют область применения хабов USB 3.0
- 8 Выделившаяся из МИТ компания представляет «полутвердые» Li-Ion батареи
- 9 Elmos разработала LIN контроллер для динамического управления RGB светодиодами
- 10 ВМФ США создает робота-рыбу для шпионских миссий
- 11 Infineon начала производство высоконадежных 700-вольтовых микросхем семейства IR71xxS
- 12 Maxwell представляет 24-вольтовый ионисторный модуль запуска двигателей
- 13 Linear Technology представляет микросхему универсального датчика температуры с интегрированным EEPROM
- 15 Новые сверхэкономичные FRAM микроконтроллеры Texas Instruments не теряют данные при потере питания
- 16 Diodes выпускает сверхбыстрые диоды с ультранизкими токами утечки
- 17 Murata выпускает одноваттные DC/DC преобразователи MTC1 с широким диапазоном входных напряжений
- 18 Microchip представила первый в мире датчик тока/мощности с выводом информации в аналоговой и цифровой форме
- 19 VisIC создала GaN транзисторы с самым низким в мире сопротивлением открытого канала
- 20 Lumileds запускает в производство семейство высококачественных цветных светодиодов LUXEON 3535L Color Line
- 21 Изготовлен первый в мире транзистор из черного фосфида мышьяка
- 22 Vesper создала самый чувствительный МЭМС микрофон
- 24 Fairchild осваивает новую линейку продуктов – инерциальные измерительные устройства на основе МЭМС

Статьи

- 26 Это не просто Raspberry Pi
- 30 О возможностях улучшения динамических характеристик прецизионных выпрямителей напряжения. Часть 2
- 40 Самый миниатюрный в мире компьютер умещается на гурте пятицентовой монеты
- 42 Эволюция преобразователей данных компании Analog Devices и звуковые ЦАП. Часть 1
- 48 Некоторые практические вопросы проектирования низкочастотных фильтров. Часть 1

Схемы

- 54 Интегральный повышающе-понижающий DC/DC преобразователь с КПД до 95%, выходным током 1.5 А и диапазоном входных и выходных напряжений от 2.5 В
- 60 Дешевый модуль драйвера светодиодов 0.5 А/33 В с КПД более 90%
- 64 Искусство волн: образы на экране осциллографа
- 67 Использование АЦП микроконтроллера в качестве интерфейса клавиатуры
- 71 Быстрый, маломощный, термостабильный усилитель на полевом транзисторе
- 73 Простая схема миллиомметра
- 75 Маломощный генератор прямоугольных импульсов с режимом сна
- 78 Умножитель облегчает измерение сверхнизких частот
- 80 Источник питания и аудио усилитель на одной микросхеме

«Конструкторский углерод» поднимет характеристики аккумуляторов на новый уровень

Новый углеродный материал, разработанный в Стэнфордском Университете, предназначен для производства систем накопления электроэнергии. «Нам удалось создать "конструкторский углерод", универсальный и легкообрабатываемый, – говорит Зенан Бао (Zhenan Bao), профессор кафедры химических технологий из Стэнфорда. – Наши исследования показывают, что этот материал обладает исключительной способностью к накоплению энергии, и может открыть дорогу к производству сернолитиевых аккумуляторов и ионисторов с уникальными характеристиками».



По словам профессора Бао, «конструкторский углерод» обладает исключительными преимуществами по сравнению с обычным активированным углем. «Дешевый активированный уголь изготавливается в основном из скорлупы кокосовых орехов. Для активации углерода производители сжигают скорлупу при высоких температурах, а затем подвергают ее химической обработке».

В процессе активации образуются наноразмерные поры, увеличивающие общую площадь поверхности углерода. Но, как говорит профессор Бао, у активированного углерода есть серьезные недостатки, среди которых – ограниченные возможности транспортировки электричества.

Подход Бао и ее коллег основан на использовании токопроводящих гидрогелей. «Полимеры гидрогеля образуют связанную трехмерную структуру, идеально проводящую электрический ток», – говорит профессор Бао. «Эта структура также содержит в себе органические молекулы и функциональные атомы, такие как азот, благодаря которым мы можем управлять электрическими свойствами углерода».

Аспирант Джон Ту (John To) добавляет: «Мы называем его «конструкторским углеродом», так как можем управлять химической формулой соединения, размером пор и удельной площадью поверхности, просто изменяя типы используемых полимеров и органических связующих, а так же варьируя количество тепла, подводимого в процессе производства».

В рамках своих работ исследователи создали материал с удельной площадью поверхности $4073 \text{ м}^2/\text{г}$.

Проверяя свое изобретение «в реальной жизни», команда из Стэнфорда изготовила электроды, покрытые новым углеродным материалом, и установила их в ионисторы. Результаты были впечатляющими: электрическая проводимость увеличилась втрое по сравнению с электродами, выполненными из обычного активированного угля.

STMicroelectronics первой начала производство микроконтроллеров с новым ядром ARM Cortex-M7

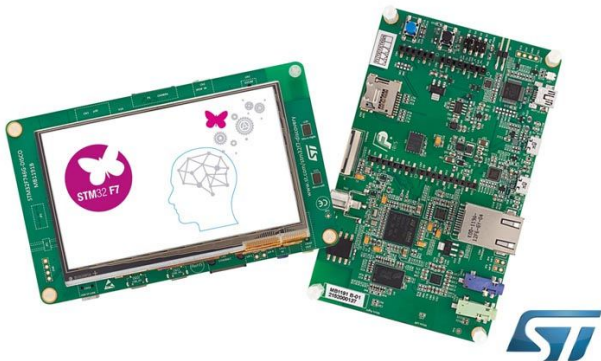
Расширяемый комплект STM32F7 Discovery, опираясь на экосистемы ARM mbed и Arduino, продвигает STM32 на массовый рынок

STMicroelectronics (ST) стала первой компанией, начавшей массовое производство микроконтроллеров с новым ядром ARM Cortex-M7 – самым последним и самым высо-

копроизводительным в серии Cortex-M. Микросхемы предназначены для перспективных бытовых, промышленных и медицинских приборов, а также устройств Интернета вещей.



Интеллектуальная архитектура новых микроконтроллеров STM32F7 объединяет ядро Cortex-M7 и усовершенствованную периферию, предоставляя разработчикам конечных устройств непревзойденные возможности для повышения производительности приложений, добавления новых функций, увеличения времени автономной работы при питании от батарей, защиты данных и минимизации количества внешних компонентов для снижения себестоимости и размеров. Новая архитектура также экономит время разработчиков, тратившееся обычно на оптимизацию длины и времени выполнения программного кода, давая возможность акцентировать усилия на обеспечении функциональных преимуществ конечного продукта.



Для расширения спектра приложений предлагается набор STM32F7 Discovery Kit, поставляемый с обширной библиотекой программ STM32Cube. Кроме того, разработчики могут рассчитывать на прямую поддержку широкой экосистемы партнеров, создающих инструментальные средства разработки ПО, а также online-сообщества ARM mbed. Открытая аппаратная платформа Discovery Kit демонстрирует достоинства STM32F7, являясь при этом доступным компактным устройством (цена составляет \$49.90), обладающим цветным сенсорным экраном

WQVGA, стерео-звуком, поддержкой множества датчиков, а также средствами защиты информации и высокоскоростного обмена данными. Совместно с встроенным отладчиком/программатором ST-Link, платформа обеспечивает неограниченные возможности расширения поддержки подключения к Arduino Uno и прямого доступа к широкому ассортименту специализированных дополнительных плат.



Отладочная плата STM32756G-EVAL с микроконтроллером STM32F756NG.

Устройства STM32F7 уже выпускаются серийно в различных вариантах корпусов, от LQFP100 размером 14 14 мм, до LQFP208 размером 28 28 мм, а также в корпусе UFBGA176 10 10 мм с шагом контактов 0.65 мм, TFBGA216 13 13 мм с шагом контактов 0.8 мм, и WLCSP143 размером 5.9 4.6 мм. Цены в лотах из 1000 приборов начинаются от \$6.73 за одну микросхему STM32F745VE в 100-выводном корпусе LQFP с 512 КБ флэш-памяти.

Дополнительная техническая информация

В микроконтроллерах STM32F7 максимально подчеркнуты преимущества нового ядра Cortex-M7 перед более ранними версиями, такими как Cortex-M4. Оно имеет почти удвоенные возможности цифровой обработки сигналов (ЦОС) для приложений, работающих с высокоскоростными или многоканальными потоками аудио, видео и радио, распознающих движения или управляющих двигателями. Оно также является первым ядром семейства Cortex-M с встроенным кэшем, способным к высокоскоростной передаче данных и быстрому исполнению кода из встроенной флеш- или внешней памяти,

например, с двухрежимным интерфейсом Quad-SPI. Эти преимущества Cortex-M7 объединены с общеизвестными сильными сторонами семейства STM32, такими как энергоэффективность, совместимость по выводам, периферии и ПО с более чем 5000 различными вариантами устройств, а также обширная экосистема разработки.

Объединенная с ядром Cortex-M7, развитая периферия ST имеет такую полезную особенность, как выделенная линия питания для устройств USB OTG, позволяющая интерфейсу USB продолжать работу в то время, когда для экономии энергии остальная часть микроконтроллера питается от напряжения 1.8 В. Удвоенный диапазон допустимых частот тактирования большинства периферийных блоков позволяет уменьшать скорость ЦП для снижения потребляемой мощности, оставляя при этом неизменной частоту синхронизации коммуникационной периферии.

К настоящему времени ST представила две линейки STM32F7. Все устройства STM32F745 и STM32F746/756 содержат ядро Cortex-M7 с модулем вычислений с плавающей точкой и расширениями ЦОС, работающими на частоте 216 МГц. Устройства имеют высокую эффективность обработки данных, достигающую 6 CoreMark/мВт при напряжении питания 1.8 В. В то же время, типовой ток, потребляемый в режиме останова при полностью сохраненных данных SRAM, составляет всего 100 мкА – столько же, сколько у устройств семейства STM32F469 с ядром Cortex-M4. Столь замечательная энер-

гоэффективность достигнута благодаря передовому 90-нм техпроцессу ST, уникальному графическому движку ART Accelerator, сокращающему время доступа к флэш-памяти, а также усовершенствованной системе масштабирования напряжений и режимов пониженной/повышенной производительности, помогающей оптимизировать скорость и потребление мощности.

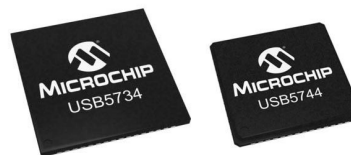
STM32F745 имеют до 1 МБ встроенной флэш-памяти, 320 КБ ОЗУ, Ethernet, QSPI и интерфейс камеры, а также контроллер внешней памяти Flexible Memory Controller (FMC). Функциональность STM32F746 расширена за счет интегрированного контроллера ЖКИ на TFT. STM32F756, в дополнение к функциям STM32F746, имеет крипто/хеш-процессор, обеспечивающий аппаратное ускорение алгоритмов AES-128/-192/-256, поддержку алгоритмов GCM, CCM, Triple DES, а также вычисление хеш-сумм (алгоритмы MD5, SHA-1 и SHA-2).

Экосистема разработки STM32F7, наряду с Discovery Kit, включает в себя две отладочные платы – STM32746G-EVAL2 и STM32756G-EVAL2, стоимостью \$560 каждая. STM32F7 Discovery Kit (STM32F746G-DISCO) обеспечивает полную гибкость точной настройки аппаратного и программного обеспечения на любой стадии разработки, сводя к минимуму финансовые риски. Разработчики также по достоинству оценят удобство ПО STM32CubeF7 и возможность повторного использования всего кода, написанного ранее для STM32F4, за счет полной программной совместимости семейств.

Новые микросхемы Microchip с технологией FlexConnect расширяют область применения хабов USB 3.0

Новое семейство хабов USB 3.0 Smart Hub упростит разработку систем и сократит количества используемых компонентов

На проходившей в Тайпее выставке Computex компания Microchip впервые показала микросхемы USB 3.0 Smart Hub, позволяющие переназначать подчиненность портов USB хостов и устройств, создавать интерфейсные мосты и пользоваться множеством других последовательных коммуникационных интерфейсов. В микросхемы USB5734 и USB5744 интегрированы микроконтроллеры, обеспечивающие новую функ-



циональность USB-хабов и в то же время снижающие количество используемых элементов и упрощающие программный код. Организацией USB-IF предоставлено право

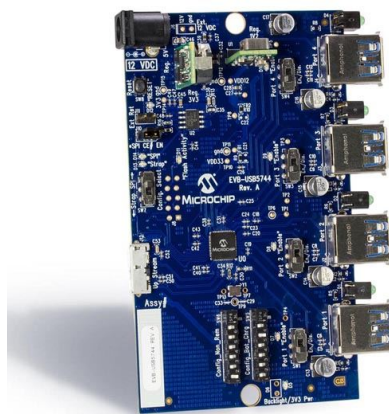
маркировки микросхем USB5734/44 логотипом USB. Микросхемы обеспечивают лучшую среди приборов своего класса целостность сигналов, позволяя конструировать надежные печатные платы, меньше подверженные влиянию кабелей, разъемов и топологии проводников.



Smart Hub – это USB хаб, в который интегрированы функции системного уровня, обычно выполняемые отдельным микроконтроллером или процессором. Новый USB 3.0 Smart Hub компании Microchip позволяет хост контроллеру верхнего уровня обмениваться информацией с множеством разнотипных внешних периферийных устройств в обход USB соединений с помощью прямых мостов между USB и интерфейсами I²C, SPI, UART или GPIO. Такая функциональная насыщенность может существенно упростить конструкцию системы за счет исключения из нее дополнительного внешнего микроконтроллера, одновременно обеспечивая лучшую управляемость со стороны аппаратных средств USB хоста.

Запатентованная Microchip технология FlexConnect дает USB5734 уникальную возможность динамического переключения из режима USB-хоста в режим USB-устройства с помощью аппаратных сигналов и/или программных команд, что позволяет новому USB-хосту получать доступ к ресурсам предыдущего уровня. Та же технология FlexConnect может переключать общие ресурсы более низких уровней между двумя различными USB-хостами. Включение FlexConnect в систему снижает требования к ПО главного хоста, поскольку драйверы класса и прикладные программы остаются локализованными в устройстве, выполняющем роль хоста.

Разработчики системы могут легко сконфигурировать порты и выбрать параметры



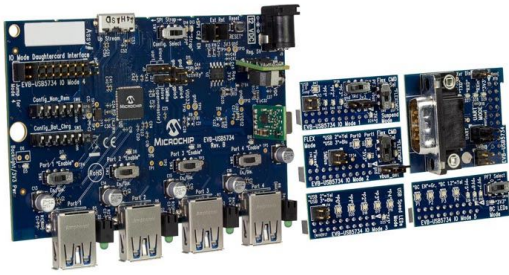
Оценочная плата USB 3.0 Controller Hub.

приложения с помощью недорогих внешних резисторов, подключаемых к шинам питания или земли. В случаях, когда требуется расширенная функциональность, USB5734/44 могут быть настроены и запрограммированы с помощью предлагаемого Microchip инструментального средства конфигурирования ProTouch2.

USB 3.0 хабы USB5734 и USB5744 обслуживают широкий диапазон вычислительных, встраиваемых, медицинских, промышленных и сетевых приложений. Примерами конечных приложений являются HDTV, планшеты, ноутбуки, электронные книги, видеодомофоны, док-станции, мониторы, торговые терминалы, банкоматы, абонентские телевизионные приставки, распределительные щиты, датчики движения и другие устройства. Выпускаемые в 56 контактных корпусах размером 7 × 7 мм, микросхемы USB5744 являются самыми миниатюрными хабами USB 3.0 в отрасли. Приборы ориентированы на приложения, для которых важны размеры печатной платы.

Средства поддержки разработчиков

USB5734 и USB5744 Microchip поддерживает оценочными платами USB 3.0 Controller Hub (# EVB-USB5734, \$399.00) и USB 3.0 Small Form Factor Controller Hub (# EVB-USB5744, \$299.00), доступные для заказа уже сейчас. В набор EVB-USB5734 включены мезонинные платы, которые могут использоваться в качестве предварительно настроенных приложений для упрощения тестирования и разработки систем на основе USB5734.



Оценочная плата USB 3.0 Small Form Factor Controller Hub с мезонинными модулями.

Цены и доступность

В настоящее время Microchip может предложить как единичные образцы, так и промышленные партии микросхем USB5734 в корпусах QFN (9 × 9 мм) с 64 выводами. Цены начинаются от \$4.20 за микросхему при размере лота 10,000 штук. USB5744 также доступны в любых объемах в 56-выводных корпусах QFN размером 7 × 7 мм по цене от \$3.75 за штуку при заказе 10,000 приборов.

Выделившаяся из МИТ компания представляет «полутвердые» Li-Ion батареи

PowerPulse

Компания 24M наконец-то вышла из тени, чтобы представить свои «полутвердые» элементы Li-Ion аккумуляторов, основанные на технологии, которая, по утверждению компании, решает серьезные проблемы хранения энергии, позволяя производить новый экономически эффективный класс Li-Ion батарей. В полутвердых батареях компании 24M полностью пересмотренная конструкция элементов сочетается с рядом технологических инноваций, которые, как ожидается, в случае их полного внедрения, улучшат характеристики Li-ion батарей и на 50% снизят затраты на производство. Новая технология ускорит повсеместный переход на доступные методы хранения энергии.



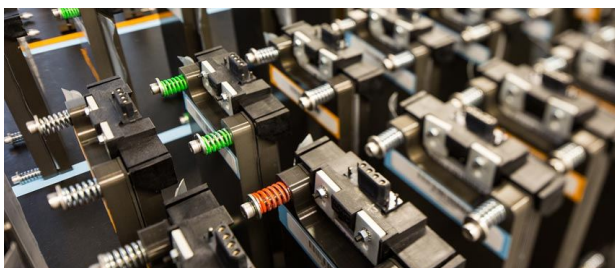
До сих пор в области хранения энергии имелись два способа снижения цены – строительство больших и сложных заводов по крупномасштабному производству Li-ion батарей или разработка принципиально новых химических составов, которые могут никогда не перейти из лабораторного уровня на коммерческий. С изобретением полутвердой Li-ion

батареи компания 24M предлагает третий способ: продолжать работу с самым известным химическим способом хранения энергии, но использовать вновь открывшиеся возможности для уменьшения затрат, основанные на инновационной конструкции элементов и новых подходах к производству.

«Технология Li-ion батарей прекрасна, но не лишена недостатков. Она чрезмерно дорога, трудоемка и неэффективна, ее современная версия подходит к границам возможности снижения затрат, – сказал доктор Ет-Минг Чанг (Yet-Ming Chiang), руководитель исследовательских работ компании 24M. – 24M устранила эти недостатки. Мы усовершенствовали самую популярную батарею в мире, полностью изменив ее характеристику затрат благодаря разработке более изящного и простого элемента, сделавшего батарею такой, какой ей следовало быть с самого первого дня».

Простая, но принципиально новая конструкция элемента стала возможной благодаря толстому полутвердому электроду – инновации в области материаловедения, созданной в лаборатории доктора Чанга в Массачусетском технологическом институте (МИТ). В обычных элементах Li-ion батарей имеется большая доля неактивных материалов, не несущих в себе никакого заряда. Это вспомогательные металлы и пластик, уложенные слой за слоем внутри корпуса элемента. Такие неактивные материалы дороги и бесполезны. С изобретением полутвердого толстого электрода компания 24M убирает более 80% неработающих материалов и, тем самым, увеличивает толщину активного слоя

по сравнению с традиционной Li-Ion батареей в 5 раз. При использовании толстых электродов элемент хранит больше энергии, улучшая характеристики батареи и снижая ее стоимость.



Простота новой конструкции элемента батареи также радикально упрощает производственные процессы. Традиционный метод изготовления Li-Ion батарей занимает дни, чрезвычайно капиталоемок и требует больших объемов производства, чтобы быть рентабельным. Инновационный подход 24M в корне меняет картину:

- **От дней к часам:**

Производственный цикл полутвердых элементов компании 24M в 5 раз короче, чем у обычной батареи. Из него исключены целые технологические этапы, такие как сращивание, просушивание, регенерация растворителя или штранг-прессование.

- **Ультранизкая стоимость:**

Сокращение числа производственных этапов, естественно, снижает капитальные затраты. Для производства полутвердых элементов достаточно 1/10 от суммы инвестиций, необходимых для завода по производству обычных батарей

- **Гибкость и модульность:**

Производители могут легко подстраиваться под требуемый спрос, делая производство Li-Ion батарей экономически эффективным даже при малых объемах.

- **Экологическая чистота:**

Производственная платформа, не использующая растворителей, позволяет создавать Li-Ion элементы самые простые во вторичной переработке из когда-либо созданных.

«Мы даем архитекторам нашего энергетического будущего все, что они любят в Li-Ion батареях по цене, которая им тоже понравится, – сказал Труп Вайлдер (Throop Wilder), генеральный директор 24M. – В общем, наши изобретения позволили достичь того, чего еще не достигли обычные Li-Ion батареи – они отвечают целям низких затрат для энергетической и транспортных отраслей. К 2020 году стоимость наших батарей будет ниже \$100 в пересчете на киловатт-час. Мы появились в нужное время с правильными технологиями».



Со времени своего основания в 2010 году 24M привлекла 50 миллионов долларов частных инвестиций от компаний Charles River Ventures, North Bridge Venture Partners и ряда промышленных партнеров. Компания так же является получателем гранта в \$4.5 млн. от Департамента энергетики США. Сейчас элементы проходят пользовательские испытания у крупных интеграторов энергетических систем для сетей энергоснабжения. В настоящее время в компании работает более 50 человек, и производится запуск полностью автоматической производственной линии на площади в 32,000 квадратных футов в Кембридже, штат Массачусетс.

Elmos разработала LIN контроллер для динамического управления RGB светодиодами

Разработанная компанией Elmos микросхема E521.31 предназначена для создания простых и гибко перестраиваемых систем управления RGB светодиодами по интерфейсу LIN. Устройство, способное управлять

в мультиплексном режиме шестью или более RGB светодиодами, идеально подходит для использования в недорогих динамических системах внешних и внутренних огней транспортных средств для отображения различ-

ной статусной информации, такой, например, как состояние заряда аккумуляторной батареи.



Микросхема содержит 16-разрядный микроконтроллер, стабилизатор напряжения и приемопередатчик LIN с интегрированной схемой автоадресации BSM (Bus Shunt Method – метод шунтирования шины). Кроме того, в микросхеме имеется от 32 до 54 КБ флеш-памяти и 1 КБ RAM. Выходное напряжение стабилизатора микросхемы E521.31 равно 5 В при, а максимальный ток – 100 мА. Светодиоды управляются встроенными драйверами, каждый из которых рассчитан на максимальный импульсный ток 50 мА. На кристалле E521.31 также есть многоходовый АЦП, с помощью которого можно, например, измерять ток или напряжение внутреннего или внешнего датчика температуры. Для быстрого переключения светодиодов предусмотрен режим вспышек со скоростью обмена по интерфейсу LIN до 115 кбод.

Проверенная огромной практикой, уникальная технология BSM дает надежный

метод адресации абонентов шины LIN. BSM была создана сообществом немецких OEM производителей для использования в таких приложениях, как приводы задвижек систем климат-контроля, и доказала свою надежность в течение 10 лет эксплуатации на множестве платформ. Все необходимые средства разработки и диагностики для этого метода уже находятся в эксплуатации. Компания Elmos была основана как поставщик полностью интегрированных решений, использующих этот метод на протяжении многих лет. Реализованная в микросхемах технология BSM демонстрирует очень хорошую устойчивость к ошибкам, таким, например, как «Обрыв земли», и может использоваться в оборудовании, «смешанном» со стандартными устройствами LIN. Это позволяет интегрировать в шину системы устройства, не поддерживающие BSM. Протокол обеспечивает возможность доступа к любому устройству, даже во время адресации абонентов шины. В любое время всем абонентам может быть послано широковещательное сообщение. С помощью простых программных решений, реализованных в подчиненных устройствах, задатчик шины может в любое время выполнять проверку достоверности адресации. Благодаря этой уникальной функции даже имеется возможность выполнения адресной диагностики.

Микросхема выпускается в корпусе QFN32L5.

E521.31 была разработана в соответствии с предписаниями стандартов LIN 2.1 и строгими требованиями автопроизводителей.

ВМФ США создает робота-рыбу для шпионских миссий

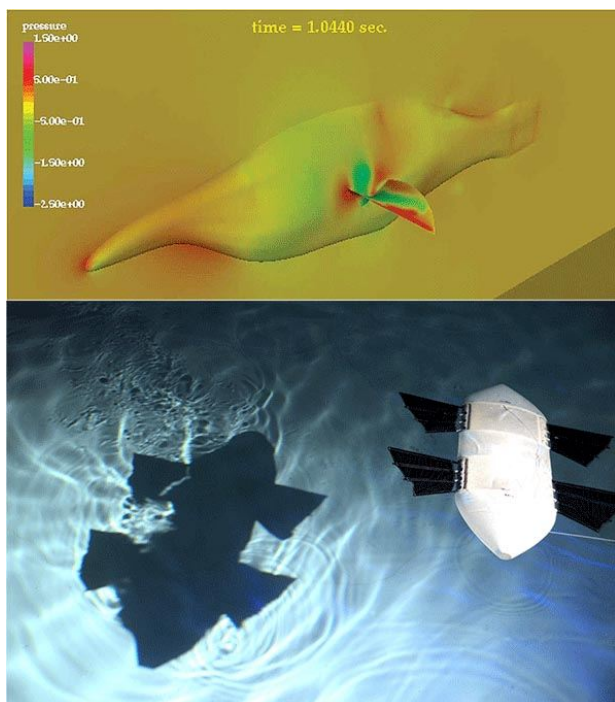
Machine Design

Инженеры Военно-морской научно-исследовательской лаборатории разрабатывают автономный подводный аппарат (autonomous underwater vehicle – AUV), имитирующий движения и действия рифовой рыбы губана-клюворыла. Конечной целью является создание AUV, способного на низкой скорости перемещаться и маневрировать в прибрежных водах, решая задачи, требующие ловкости и умения обнаруживать и идентифицировать элементы окружающей среды. У ВМФ США уже имеются высокоско-

ростные AUV, предназначенные для протяженных миссий в открытых водах. Теперь же флоту потребовался аналогичный аппарат для прибрежных вод, для которых характерны нагромождения препятствий и постоянные изменения потоков.

Черпая вдохновение в живой природе, группа инженеров, в конце концов, создала активно управляемый изогнутый плавник рыбы-робота, подобный грудным плавникам губана. Они установили на роботизированной рыбе четыре таких плавника – два спере-

ди, и два в кормовой части, и назвали робота Ванда. (Не в честь ли вышедшего в 1988 году фильма Рыбка по имени Ванда)?

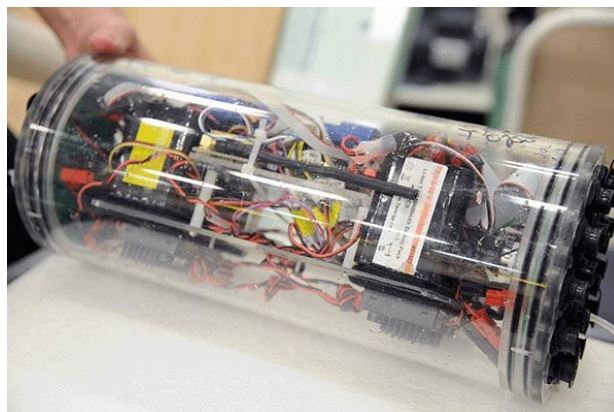


Ученые из Военно-морской научно-исследовательской лаборатории США, используя методы вычислительной гидродинамики, смоделировали геометрию плавников губана-клюворыла, а затем сравнили расчеты с экспериментальными результатами (вверху). Таким образом были созданы четыре искусственных грудных плавника (внизу) – два спереди, и два на корме, приводящих подводного робота в движение и обеспечивающих необходимое управление. (Фото: Военно-морская научно-исследовательская лаборатория США, Jamie Hartman).

Алгоритм управления плавниками использует информацию о движении робота, окружающих предметах и предварительно запрограммированном положении цели. К настоящему времени специалисты научили

робота перемещаться вперед и назад, вверх и вниз, разворачиваться на месте, а также сохранять свою позицию в воде, движущейся со скоростью двух узлов. Робот способен также координировать свои маневры, чтобы, выполняя навигацию, без посторонней помощи двигаться от одной точки к другой.

Теперь разработчики приступают к проверке оборудования робота. Первый образец будет снабжен датчиками биохимических агентов, выходные сигналы которых смогут управлять Вандой, заставляя ее плыть вдоль шлейфа химических веществ в направлении их источника. В следующих экземплярах робота эти же плавники будут использоваться для аэродинамического управления. Это позволит сбрасывать AUV с воздуха, после чего аппарат сможет, пройдя часть пути над поверхностью, достигнуть нужной точки и погрузиться в воду.



Внутри нового подводного дрона ВМФ размещена водонепроницаемая камера для электроники, в которой находятся источник питания, микроконтроллер, навигационные и контрольные датчики, а также аппаратура связи. Водонепроницаемые разъемы на герметичном отсеке соединяют электронику с приводами плавников и внешними датчиками. (Фото: Военно-морская научно-исследовательская лаборатория США, Jamie Hartman).

Infineon начала производство высоконадежных 700-вольтовых микросхем семейства IR71xxS

Infineon Technologies объявила о начале производства семейства высоконадежных 700-вольтовых микросхем, оптимизированных для таких приложений, как инверторы

солнечных электростанций, источники энергоснабжения, устройства бесперебойного питания, сварочное оборудование и промышленные приводы. Увеличенное до 700 В

допустимое напряжение упростит разработчикам создание высоковольтных силовых каскадов и сделает их более надежными.

«Новая серия высоковольтных микросхем IR7xxxS предоставляет возможность создания самых простых, миниатюрных и дешевых решений для управления MOSFET или IGBT с напряжением питания до 700 В, позволяя, по сравнению со схемами, основанными на дискретных оптоизоляторах или трансформаторах, сократить количество компонентов до 30%, а площадь печатной платы до 50%. Кроме того, увеличенное пробивное напряжение и улучшенные характеристики в переходных режимах повышают надежность разрабатываемых конструкций», – сказал Ахмед Масуд (Ahmed Masood), исполнительный директор подразделения высоковольтных ИС компании Infineon.

Новая серия высоковольтных микросхем IR7xxxS, изготавливаемых по биполярной технологии, может отдавать в нагрузку вытекающий/вытекающий ток от 60 мА до 2300 мА. Выпускаемые в форме полумостов или ключей верхнего и нижнего плеча, новые прибор

ы оптимизированы для работы с 700-вольтовыми MOSFET и 650-вольтовыми IGBT и выполняют все функции драйверов с исключительно высокими скоростями переключения, позволяющими уменьшить количество магнитных компонентов.

Важными особенностями новых устройств также являются имеющиеся в обоих каналах цепи защитной блокировки при повышенном напряжении и сниженные для улучшения помехоустойчивости скорости нарастания выходных токов драйверов затворов. Помимо этого, высоковольтные микросхемы устойчивы к высокой скорости нарастания отрицательных выбросов напряжения, имеют согласованные по обоим каналам задержки распространения и совместимы по входам с логическими сигналами 3.3 В и 15 В.

Доступность

Микросхемы новой серии IR71xxS выпускаются в 8-выводных корпусах SOIC для поверхностного монтажа. Устройства не содержат свинца и отвечают предписаниям директивы RoHS.

Технические характеристики

Прибор	Входы	Тип	I _{O+} мА (тип.)	I _{O-} мА (тип.)	Корпус
IR7304S	LIN, HIN	Полумост	60	130	SOIC-8
IR7106S	LIN, HIN	Ключи верхнего и нижнего плеча	200	350	SOIC-8
IR7184S	IN, SD	Полумост	1900	2300	SOIC-8

Maxwell представляет 24-вольтовый ионисторный модуль запуска двигателей

Maxwell Technologies

Maxwell Technologies объявила о доступности 24-вольтового ионисторного модуля запуска двигателя (Engine Start Module – ESM), повышающего безотказность работы оборудования и надежность электроснабжения автобусов и грузовых автомобилей.

24-вольтовые ESM позволяют транспортным средствам заводиться и работать в условиях холодной погоды и при редких запусках. Новое изделие расширяет линейку решений Maxwell в области устройств запуска двигателей, развивая успех 12-вольтового ESM и делая доступными все его преимущества для

Metro Magazine

дизельных двигателей транспортных средств, используемых в перевозках, строительстве, в армии, сельском хозяйстве, в лес-



ной промышленности, добыче полезных ископаемых и других отраслях промышленности.

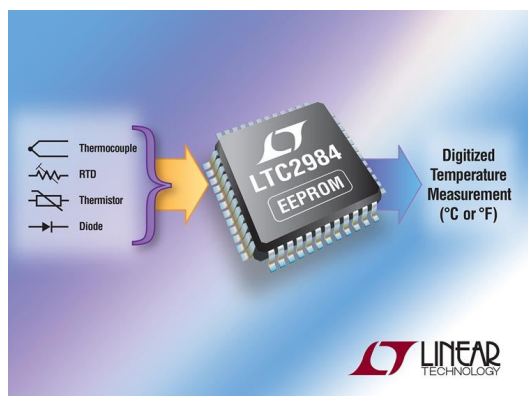
При эксплуатации в условиях редкого использования или при низких температурах дизельные двигатели часто заводятся плохо. Так же, как и 12-вольтовый ESM, 24-вольтовое устройство компании Maxwell полностью берет на себя функцию проворачивания вала и запуска, оставаясь полностью заряженным даже при значительном падении напряжения аккумулятора. 24-вольтовый ESM проворачивает вал и запускает двигатель, когда аккумулятор этого сделать не может. OEM-производители, интегрировавшие 24-вольтовые ESM компании Maxwell в свою продукцию, получают более совершенные транспортные средства, повышающие эффективность работы их потребителей, помогая им избежать типичных проблем, возникающих при использовании свинцово-кислотных аккумуляторов для запуска дизельных двигателей.

Существуют две модели 24-вольтовых ESM: ULTRA 31/900/24V для запуска дизельных двигателей объемом до 12.5 литров и ULTRA 31/1100/24V для двигателей до 15.0 литров. Обе выпускаются в конструктивном исполнении BCI Group 31.

В отличие от аккумуляторов, которые производят и сохраняют энергию за счет химической реакции, ионисторы запасают энергию в электрическом поле. Этот электростатический механизм хранения энергии дает ионисторам возможность заряжаться и разряжаться всего за доли секунды, сохранять работоспособность в широком температурном диапазоне от -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$, надежно выдерживать до миллиона и более циклов перезаряда, а также быть устойчивыми к ударам и вибрациям. Maxwell предлагает ионисторные ячейки емкостью от одной до 3400 фарад, а также многоячеечные модули, рассчитанные на напряжения от 12 до 160 В.

Linear Technology представляет микросхему универсального датчика температуры с интегрированным EEPROM

Linear Technology представила высококачественную микросхему цифрового измерителя температуры LTC2984, способную напрямую оцифровывать сигналы термопреобразователей, термопар, термисторов и внешних диодов с точностью 0.1°C и разрешением 0.001°C . Микросхема создана на

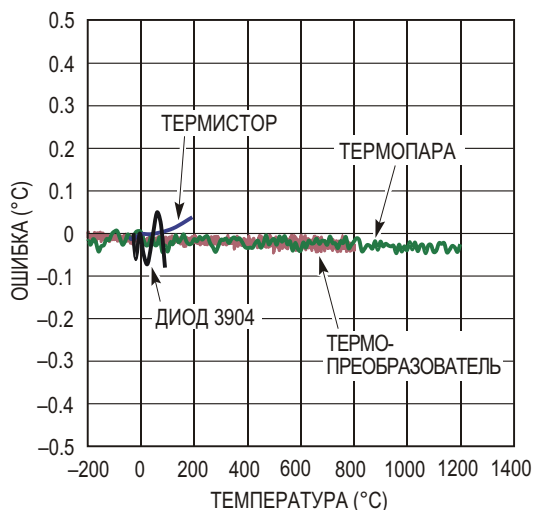


основе выпущенной ранее LTC2983 путем добавления к ней EEPROM для хранения данных пользовательских настроек и поправочных коэффициентов. Это добавление позволяет избавиться от необходимости како-

го-либо программирования микросхем внешним процессором и создавать полностью автономные платы или модули измерителей температуры. По выводам и кодам управления LTC2984 совместима с микросхемой LTC2983. Энергонезависимая память в LTC2984 упрощает разработку и повышает надежность работы модульных и индивидуализированных систем датчиков.

LTC2984 содержит все функциональные возможности, имеющиеся в LTC2983, и дополнительное EEPROM. Высококачественная входная цепь сочетается с малошумящими буферизованными АЦП, имеющими низкие напряжения смещения и все необходимое для возбуждения и контроля каждого датчика. Измерения выполняются под управлением цифровой подсистемы с использованием различных алгоритмов обработки и линеаризации для каждого типа датчиков. LTC2984 имеет высокоточный мультиплексированный входной интерфейс, позволяющий подключать к ней практически любые датчики. Микросхема с высокой точностью измеряет абсолютные значения сигналов с уровня

ми в единицы микровольт, производит логотметрические измерения сопротивлений термопреобразователей и термисторов, линеаризует результаты и выводит их в градусах Цельсия или Фаренгейта. Всего доступно до двадцати аналоговых входов. LTC2984 снабжена интерфейсом SPI, работающим почти с любой цифровой системой, а всесторонняя система программной поддержки с выпадающими меню позволяет легко настраивать параметры микросхемы.



Типичный вклад различных датчиков в ошибку измерения температуры.

Микросхема LTC2984 имеет простые, но многофункциональные интерфейсы для множества типов датчиков, включая термопары В, Е, J, К, N, S, R и Т типов, 2-, 3- или 4-проводные термопреобразователи, термисторы с сопротивлением от 2.25 кОм до 30 кОм и термочувствительные диоды. LTC2984 работает с датчиками, сигналы которых привязаны к земле, не требуя усилителей, источников отрицательного напряжения или схем сдвига уровней. Сигналы одновременно оцифровываются с помощью трех 24-битных

АЦП, использующих внутренний источник опорного напряжения с температурным коэффициентом $15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Автоматическая компенсация холодного спая может быть выполнена с использованием внешнего датчика любого типа. На кристалле имеются алгоритмы линеаризации, поддерживающие все распространенные виды датчиков. Индивидуализированные датчики могут быть линеаризованы с помощью записываемых в микросхеме пользовательских коэффициентов.

Изменяемая полярность и перестраиваемые диапазоны двух программируемых источников тока возбуждения позволяют повысить точность измерений и снизить уровень шумов. Для обеспечения точности измерений при использовании резистивных датчиков паразитные эффекты термопары устраняются реверсированием тока возбуждения. Предупреждения о выходе из строя датчиков, специфические для каждого их типа, информируют пользователя о коротких замыканиях, обрывах, перегреве и переохлаждении, а также о выходе сигнала за пределы рабочего диапазона АЦП.

LTC2984 предлагаются в вариантах исполнения для аппаратуры коммерческого и промышленного назначения с диапазонами рабочих температур, соответственно, от 0°C до 70°C и от -40°C до 85°C . Приборы выпускаются в 48-выводных корпусах LQFP размером 7×7 мм, отвечающих предписаниям директивы RoHS. Цена одной микросхемы начинается от \$21.43 для партий из 1000 штук.

Сводка основных характеристик LTC2984

- Прямое преобразование в цифровую форму сигналов термопреобразователей, термопар, термисторов и диодов;
- Встроенное EEPROM для хранения параметров конфигурации каналов и пользовательских коэффициентов;
- Один источник питания от 2.85 В до 5.25 В;
- 20 гибко настраиваемых входов для различных типов датчиков;
- Автоматическая компенсация холодного спая термопары;
- Стандартные и задаваемые пользователем коэффициенты для линеаризации термопар, термопреобразователей и термисторов;
- Конфигурируемое 2-, 3- или 4-проводное подключение термопреобразователей;
- Измеряет отрицательные напряжения термопары без источника отрицательного напряжения;
- Автоматическое обнаружение поврежденных датчиков, коротких замыканий и других неисправностей;
- Буферизованные входы допускают использование внешних элементов защи-

- ты и прямое подключение к резистивным датчикам;
- Одновременное подавление помех 50 Гц и 60 Гц;

- Содержит источник опорного напряжения с температурным коэффициентом 15 ppm/°C;
- 48-выводной корпус LQFP размером 7 x 7 мм.

Новые сверхэкономичные FRAM микроконтроллеры Texas Instruments не теряют данные при потере питания

Высокоинтегрированные FRAM микроконтроллеры MSP430 с контроллером LCD дисплея позволяют снизить стоимость устройств промышленной автоматике и измерительных систем

Texas Instruments (TI) решила проблему, десятилетиями будоражившую умы инженеров, разработав революционную технологию CTPL (Compute Through Power Loss – Вычисление после потери питания), позволяющую сохранять и восстанавливать контекст выполняемого приложения. Технология реализована во всем семействе FRAM микроконтроллеров MSP430, в том числе и в новом микроконтроллере MSP430FR6972. Находящаяся в стадии регистрации патента, новая технология позволяет мгновенно пробудить контроллер с помощью интеллектуальной системы восстановления состояния, даже после неожиданной потери питания. Кроме того, MSP430FR6972 оснащен интеллектуальной аналоговой и цифровой периферией, включая встроенный малопотребляющий контроллер сегментного ЖК-дисплея, 12-битный дифференциальный АЦП с оконным компаратором и 256-битный ускоритель AES шифрования, что позволяет сократить стоимость системы, габариты и потребляемую мощность. Микроконтроллер MSP430FR6972 с ультранизким потреблением энергии и 64 КБ энергонезависимой FRAM занимает лидирующую позицию в рейтинге ULPBench для 16-битных микроконтроллеров и может использоваться для сбора данных в таких приложениях, как беспроводные мониторы состояния двигателей. Эта система, разработанная в центре инновационных исследований TI Kilby Labs, пополнила библиотеку типовых конструкций TI Design. Помимо MSP430FR6972, она содержит микросхему сбора энергии bq25570, а также беспроводной мультистандартный микроконтроллер CC2650 семейства SimpleLink, и может работать от литиевого элемента питания в течение десятков

лет. Система собирает и анализирует данные о частотах вибрации двигателя, позволяя оператору точно предсказать и спланировать сроки очередного технического обслуживания, чтобы свести к минимуму вероятность отказа оборудования.

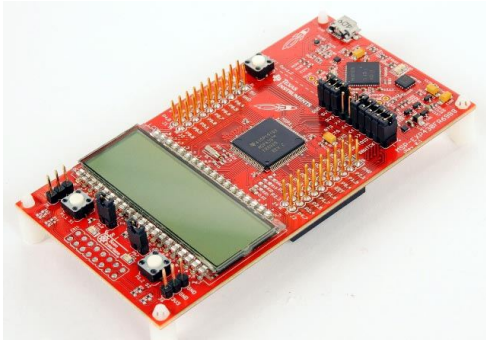
Lose power, not data

New ultra-low-power
MSP430FR697x FRAM
MCUs and LaunchPad
Development Kit



Уникально низкое потребление энергии микроконтроллерами с сегнетоэлектрическим ОЗУ

- Снижение производственных затрат за счет сокращения времени программирования контроллера на сборочной линии.
- Универсальная FRAM, позволяющая хранить как данные, так и коды приложений – гибкое решение для обновления ПО непосредственно на объекте.
- Непревзойденная скорость записи в сочетании с количеством циклов перезаписи, в 10 млрд. раз превосходящим возможности обычной энергонезависимой памяти, отлично подходит для приложений сбора данных.
- Упрощение разработки кода за счет возможности записи программы без предварительной очистки сегментов памяти и наличия побитового доступа к памяти, что позволяет постоянно собирать данные «на лету» без дополнительного расхода энергии.



Комплект разработчика LaunchPad MSP430FR6989.

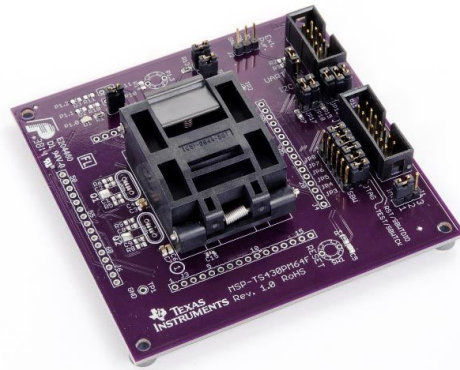
Особенности и преимущества FRAM микроконтроллеров серии MSP430FR6972

Драйвер встроенного 116-сегментного ЖК-дисплея содержит программно-настраиваемые порты для быстрого и простого распределения аппаратных ресурсов, а интегрированная схема накачки заряда поддерживает заданный уровень контрастности дисплея, даже тогда, когда микроконтроллер находится в режимах низкого энергопотребления.

- Дополнительная периферия включает 52 вывода общего назначения с возможностью управления емкостным сенсорным экраном, пять таймеров, компаратор, часы реального времени и коммуникационные интерфейсы SPI, UART и I²C, сокращающие стоимость и габариты конечного продукта.
- Энергонезависимая FRAM, контролер ЖК-дисплея и встроенные функции безопасности делают микроконтроллеры MSP430FR6972 идеальными устройствами для приложений, требующих одновременного выполнения основного кода и измерения электрических параметров, а так же для средств автоматизации зданий и промышленных объектов.
- Потребление тока при активных часах реального времени составляет 700 нА, а оценка эффективности по методике ULPBench дает 117.5 очков, подтверждая, что MSP430FR6972 являются самыми

энергоэффективными приборами среди 16-разрядных микроконтроллеров с драйвером ЖКИ.

- Технология EnergyTrace++ позволяет разработчикам в реальном времени анализировать потребление мощности, а также предоставляет уникальную возможность получения информации о состоянии системы и периферии, чтобы управлять расходом энергии и оптимизировать ПО для минимизации энергозатрат.
- Подробные руководства и указания по применению упрощают переход от существующих Flash-микроконтроллеров к FRAM микроконтроллерам MSP430 и облегчают портирование исходного кода.



Плата MSP-TS430PM64F с сокетом для 64-контактного FRAM микроконтроллера MSP430.

Цены и доступность

Микроконтроллеры MSP430FR6972 и их модификации можно приобрести по ценам, начинающимся от \$2.15 за штуку при объеме партии 1000 приборов. Комплект разработчика LaunchPad MSP-EXP430FR6989 для оценки всех возможностей микроконтроллеров серии стоит всего \$17.99. За \$175 можно купить плату MSP-TS430PM64F с сокетом для целевого процессора и программатор/отладчик MSP-FET для полного цикла разработки.

Diodes выпускает сверхбыстрые диоды с ультранизкими токами утечки

Компания Diodes представила новое семейство переключающих диодов DLLFSD01x. Приборы предназначены для приложений,

требующих ультра низких токов утечки и сверхвысоких скоростей переключения, в частности, для LCD дисплеев, портативной

электроники, компьютеров и других потребительских изделий. Особую пользу устройства принесут там, где необходимы высокий КПД и малые потери переключения.

Переключающие диоды серии DLLFSD01х отличаются ультра малыми токами утечки, типовые значения которых составляют 5 нА, существенно сокращающими потери мощности и повышающими энергоэффективность систем. Время обратного восстановления диодов не превышает 4 нс, что также значительно улучшает КПД за счет снижения потерь переключения в конечном приложении. Кроме того, исключительно малая общая емкость, равная примерно 0.5 пФ, упрощает управление этими диодами.

Импульсные диоды DLLFSD01х отличаются малыми габаритами и по основным параметрам превосходят изделия конкурентов.



Потребителям предлагается выбор между ультраминиатюрными выводными и безвыводными корпусами.

Диоды DLLFSD01T-7 выпускаются в корпусе SOD523, DLLFSD01LPH4-7B – в корпусе X2-DFN1006-2, а DLLFSD01LP3 – в X3-DFN0606-2.

Murata выпускает одноваттные DC/DC преобразователи MTC1 с широким диапазоном входных напряжений

Electronics Weekly

Компания Murata начала выпуск регулируемых одноканальных DC/DC преобразователей серии MTC1 с выходной мощностью 1 Вт и номинальным входным напряжением 12 В или 24 В. Диапазон допустимых входных напряжений преобразователей перекрывает номинальное значение в соотношении более чем 2:1, что позволяет использовать их в приложениях с различными входными напряжениями или в ситуациях, когда возможны большие отклонения входного напряжения.



Преобразователи ориентированы на использование в медицинском, промышленном и телекоммуникационном оборудова-

нии, в устройствах, питающихся от батарей, а также в системах автоматизации технологических процессов.

Семейство MTC1 состоит из шести одноканальных моделей с выходными напряжениями 3.3, 5 или 12 В, каждая из которых предлагается в вариантах для входных напряжений 12 В и 24 В DC. MTC1 не нуждаются во внешних элементах подстройки, поскольку при любом напряжении на входе выходное напряжение стабилизируется с точностью $\pm 0.5\%$.

Вывод подстройки позволяет регулировать выходное напряжение в пределах $\pm 10\%$ в соответствии со специфическими требованиями приложения. Вывод дистанционного включения/выключения дает возможность отключения выхода для экономии энергии.

Напряжение изоляции вход-выход соответствует международному стандарту промышленной безопасности UL60950 (в процессе сертификации). В совокупности с сертификацией по группе 2 MOOP стандартов медицинской безопасности ANSI/AAMI ES60601-1, завершение которой ожидается в ближайшее время, преобразователь будет удовлетво-

рять всем требованиям, предъявляемым к широкому кругу оборудования для медицины и здравоохранения. С соответствующим снижением номинальных значений параметров МТС1 могут эксплуатироваться при температуре до +105 °С.

Особенности

- Соответствуют требованиям группы стандартов UL 60950 в части усиленной изоляции
- Соответствие группе 2 МООР стандартов ANSI/AAMI ES60601-1
- Изоляция проверяется переменным напряжением 3 кВ («Высоковольтный тест»)
- Защита от длительного короткого замыкания
- Подстройка выходного напряжения
- Вывод дистанционного включения/выключения
- Не требует внешних электролитических конденсаторов
- Диапазон рабочих температур от –40 °С до 100 °С
- Широкий диапазон входных напряжений

Microchip представила первый в мире датчик тока/мощности с выводом информации в аналоговой и цифровой форме

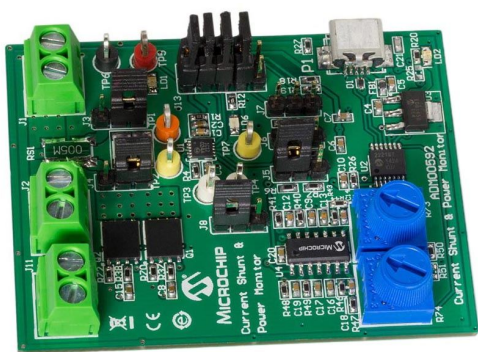
РАС1921 максимально увеличивает пропускную способность информационного канала при сокращенных до минимума задержках передачи данных

Microchip Technologies представила на выставке Sensors Expo комбинированный аналоговый и цифровой датчик тока РАС1921. Это новое устройство является первым в мире датчиком тока положительного полюса нагрузки, имеющим как встроенный цифровой, так и конфигурируемый аналоговый выход, с которого можно считывать информацию о мощности, силе тока или напряжении. Одновременно все энергетические параметры могут быть приняты по двухпроводной цифровой шине, совместимой с I²C. Микросхема РАС1921, выпускаемая в 10-выводном корпусе VDFN размером 3 × 3 мм, оснащена двухпроводной шиной, обеспечивающей максимальную скорость потока диагностических данных, в то время как на аналоговом выходе информация появляется с минимальной задержкой. Аналоговый выход может быть настроен для подключения к входам микроконтроллера с напряжением питания 3 В, 2 В, 1.5 В или 1 В.

РАС1921 идеально подходит для сетевых приложений, систем распределения питания, вычислительных устройств и средств промышленной автоматизации, в которых малое время, отведенное на принятие решений, не допускает временных задержек. 39-битный накапливающий регистр и конфигурируемый токоизмерительный усилитель с максимальным усилением 128 позволяют выполнять измерения как в сильно-, так и в слаботочных системах с входным напряжением от 0 до 32 В. Для вычисления среднеинтегральной мощности устройство может накапливать измеренные значения в течение более чем двух секунд. Кроме того, РАС1921 имеет вход READ/INT, предназначенный для задания периода измерения командами хост-контроллера; этот вывод также может использоваться для синхронизации чтения данных с нескольких устройств.

«Возможность вывода результатов измерений мощности как в цифровой, так и в аналоговой форме предоставляет разработчикам уникальный уровень гибкости, – сказал Брайан Дж. Лидиард (Bryan J. Liddiard), вице-президент по маркетингу подразделения аналоговых и интерфейсных продуктов Microchip. – В РАС1921 это достигнуто за счет интеграции цифрового датчика тока для обработки максимального потока получаемых данных с минимизирующей задержки аналоговым датчиком».





Оценочная плата PAC1921 High-Side Power and Current Monitor.

Средства поддержки разработчиков

Для поддержки разработчиков Microchip выпустила оценочную плату PAC1921 High-Side Power and Current Monitor (#ADM00592), которую можно приобрести за \$64.99.

Цены и доступность

В настоящее время Microchip может предложить как единичные образцы, так и промышленные партии PAC1921 в 10-выводном корпусе VDFN 3x3 мм. Цены начинаются от \$1.18 за штуку в партии из 5000 приборов.

VisiC создала GaN транзисторы с самым низким в мире сопротивлением открытого канала

По утверждению компании VisiC Technologies, ею созданы GaN транзисторы с самым низким в мире сопротивлением открытого канала среди приборов класса 650 В/50 А – всего 12 мОм. Транзисторы способны работать на частотах до 1 МГц. Эти устройства разработаны для использования в источниках питания, инверторах солнечных батарей и драйверах электродвигателей. Такие подсистемы широко используются в промышленных, коммерческих и потребительских приложениях, в частности в робототехнике, лифтах, стиральных машинах, кондиционерах и т.п.



Из соображений безопасности во многих системах преобразования энергии транзистор должен работать в нормально выключенном режиме, хорошо знакомом всем разработчикам устройств питания. Кроме того, приборы VisiC MISHMТ (High Electron Mobility Transistors – транзисторы с высокой подвижностью электронов) управляются напряжением, как и MOSFET, используемые

PowerPulse



в большинстве конструкций систем питания. Но в отличие от MOSFET последних поколений, транзисторы компании VisiC имеют монотонные передаточные характеристики, что делает их менее сложными в применении и облегчает внедрение этих инновационных устройств в системы питания.

В компании VisiC убеждены, что GaN устройства будут стоить для конечных производителей столько же, или даже меньше, чем аналогичные MOSFET, что позволит быстро ощутить выгоду от возросшей эффективности, сниженной стоимости и уменьшенных размеров систем.

В конструкции силовых коммутационных приборов компании VisiC, объединенных под брендом ALL-Switch (Advanced Low Loss Switch – усовершенствованный ключ с низкими потерями), собрана оригинальная комбинация компонентов, обеспечивающая минимум потерь, небольшие размеры и надежную работу при доступной для потребителей цене. Разработанные VisiC приборы ALL-Switch позволяют преодолеть основные препятствия, ограничивавшие широкое внедрение GaN транзисторов в схемы коммутационных устройств.

Особенностями ALL-Switch является высокое положительное пороговое напряжение, превышающее +3 В и принципиально отличающее их от GaN транзисторов в режиме обогащения с напряжением порога менее 1 В,

а, кроме того, обеспечивающее намного больший уровень устойчивости к электромагнитным помехам. Рекордно низкое сопротивление открытого канала, большое пробивное напряжение, превышающее 800 В, блокирующее напряжение до 600 В, небольшое падение напряжения в режиме обратной проводимости и высокая электрическая прочность внутренней изоляции в сочетании с низким тепловым сопротивлением определяют преимущество транзисторов VisiC над продуктами конкурентов.

В настоящее время GaN HEMT выращиваются на 6-дюймовых кремниевых подложках. Используемая технология позволяет создавать GaN транзисторы – основные части ALL-Switch, – имеющие нулевое время восстановления и лучшее в отрасли, гарантированно низкое сопротивление открытого канала. Высокие технологические запасы по важнейшим рабочим параметрам дают потребителям очевидные преимущества при разработке эффективных, малогабаритных и недорогих систем.

Lumileds запускает в производство семейство высококачественных цветных светодиодов LUXEON 3535L Color Line

Светодиоды LUXEON 3535L Color с цветами от янтарного, используемого в диммируемых лампах теплого света, до лимонного, предназначенного для ламп с изменяемым цветом свечения, выпускаются в проверенном временем, надежном корпусе 3.5 x 3.5 мм и обеспечивают высокое качество цветовоспроизведения

Компания Lumileds запустила в производство семейство светодиодов LUXEON 3535L Color Line, предоставив конструкторам систем автомобильного освещения, информационных вывесок, ламп с изменяемым цветом свечения и архитектурных светильников доступ к высококачественным одноцветным светодиодам средней мощности красного, красно-оранжевого, янтарного, лимонного, зеленого и синего цветов свечения. «Огромный успех наших клиентов, выпустивших в продажу светильники с мощными цветными излучателями Lumileds, убедил нас, что во многих сегментах рынка будут востребованы и аналогичные цветные светодиоды среднего диапазона мощности», – сказал Дэвид Козенца (David Cosenza), менеджер по продукции для LUXEON 3535L Color Line.



Одним из приборов семейства LUXEON 3535L Color Line является LUXEON 3535L PC Amber (янтарный), способный заменить три светодиода с цветовой температурой 2200K в диммируемых лампах теплого свечения, обеспечивая при этом лучший в своем классе световой поток и наивысший коэффициент холодный/горячий (отношение потока при 85 °C к потоку при 25 °C). В результате каждый люмен светового потока создаваемых диммируемых электрических лампочек станет дешевле, и будет потреблять меньше мощности.

Еще один замечательный продукт в линейке – светодиод LUXEON 3535L Lime (лимонный), намного повышающий привлекательность ламп с изменяемым цветом свечения, таких как Philips Hue. «При смешивании с красным, уникальные цветовые координаты лимонного светодиода позволяют получить намного более теплый белый свет, чем можно создать на основе комбинации красного и холодного белого цветов», – сказал Дэвид Козенца. При токе 100 мА и температуре 25 °C типовая величина светового потока, излучаемого прибором LUXEON 3535L Lime, равна 56 лм, а эффективность достигает исключительного значения 190 лм/Вт.

Заполнив нишу светодиодов меньшей мощности, LUXEON 3535L Color демонстрирует

рует возросшую гибкость семейства цветных приборов Lumileds. С появлением LUXEON 3535L Colors постоянные потребители продукции Lumileds, намеревающиеся расширить свою продуктовую линейку, могут для каждого изделия выбрать оптимальное количество цветов – не больше, и не меньше, используя при этом ту же оптику, которая

ранее предназначалась для излучателей LUXEON Rebel Color и LUXEON Z Color, и быстро вывести на рынок свою новую продукцию.

С добавлением приборов LUXEON 3535L Colors к существующей линейке LUXEON 3535L White сформировалось самое полное на современном рынке семейство светодиодов средней мощности.

Изготовлен первый в мире транзистор из черного фосфида мышьяка

Dexter Johnson

IEEE Spectrum

Международная группа исследователей из Германии и США изготовила первый полевой транзистор на основе черного фосфида мышьяка.

В исследовании, отчет о котором был опубликованном в журнале *Advanced Materials*, ученые из Мюнхенского технического университета и Регенсбургского университета (Германия), а также Университета Южной Калифорнии и Йельского университета в США разработали новый метод синтеза черного фосфида мышьяка, не требующий обычно необходимого высокого давления, что существенно сокращает расход энергии и, тем самым, снижает затраты на производство.

Черный фосфор был известен уже порядка 100 лет назад, однако недавно он был синтезирован в форме двумерного материала, названного фосфореном с оглядкой на его двумерного кузена – графен. Черный фосфор весьма привлекателен как материал для

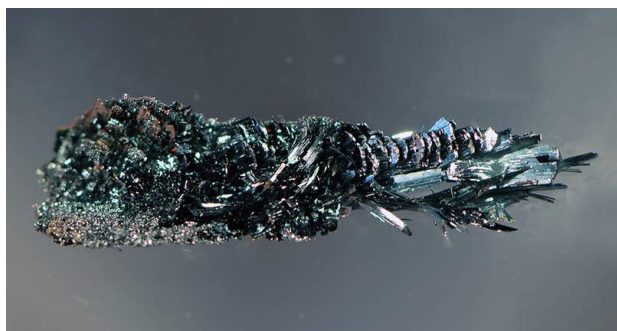
производства электронных компонентов, например, полевых транзисторов, что обусловлено наличием у него запрещенной зоны, и тем, что это один из немногих двумерных материалов, изначально являющийся полупроводником р-типа.

Немецко-американская команда ученых заменила отдельные атомы фосфора атомами мышьяка таким образом, что когда концентрация мышьяка в материале достигает 83 процентов, ширина его запрещенной зоны уменьшается до крайне малого значения 0.15 эВ. В результате, как полагают исследователи, этот материал идеально подойдет для датчиков длинноволнового инфракрасного излучения, используемых, например, в автомобильных лидарах для измерения расстояний.

Столь малый разрыв между валентной зоной и зоной проводимости не нужен. Точно управлять шириной запрещенной зоны исследователи могут путем простого изменения концентрации мышьяка.

«Это позволяет нам производить материалы с ранее недостижимыми электронными и оптическими свойствами в энергетическом окне, которое до настоящего времени было недоступно», – сообщил в пресс-релизе Том Найлджес (Tom Nilges), руководитель исследовательской группы Мюнхенского технического университета.

Исследователи ожидают, что как графен и другие двумерные материалы, этот материал сможет найти применение в гибкой электронике, где по своей прочности и гибкости он намного превзойдет хрупкий кремний.



Кристаллы полупроводящего черного фосфида мышьяка. (Фото Andreas Battenberg, Мюнхенский технический университет).

Vesper создала самый чувствительный МЭМС микрофон

R. Colin Johnson

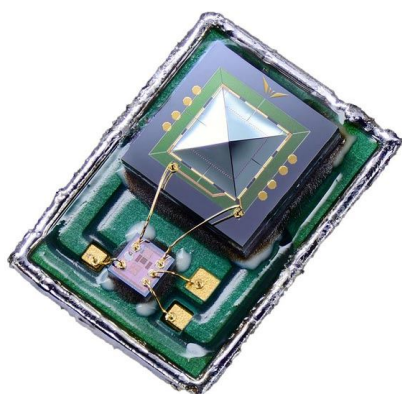
EE Times

По заявлениям компании Vesper, отношение сигнал/шум для разработанного ею микрофона составляет 68 дБ

Спеша заявить о себе рынку, компания Vesper Technologies (Бостон) анонсировала устройство, которое, по ее заверениям, является микроэлектромеханическим (МЭМС) микрофоном высокой четкости с самым высоким в отрасли отношением сигнал/шум, даже несмотря на то, что эта величина снизилась до 68 дБ по сравнению с заявленным ранее отношением 70 дБ.

«В 2016 году мы планируем создать микрофоны с отношением сигнал/шум 70 дБ, в 2017 – ультра миниатюрную и маломощную модель с отношением 72 дБ, а 2018 году – с отношением 75 дБ, – сообщил генеральный директор компании Vesper Мэт Кроули (Matt Crowley) корреспонденту EE Times. – Даже сегодняшняя наша модель VM101 с отношением сигнал/шум 68 дБ почти вдвое превосходит современные емкостные МЭМС микрофоны высшего класса, имеющие отношение сигнал/шум 65 дБ».

Добиться столь впечатляющих характеристик позволило использование пьезоэлектрических вюрцитовых кристаллов нитрида алюминия с их уникальной пирамидальной формой диафрагмы, состоящей из четырех

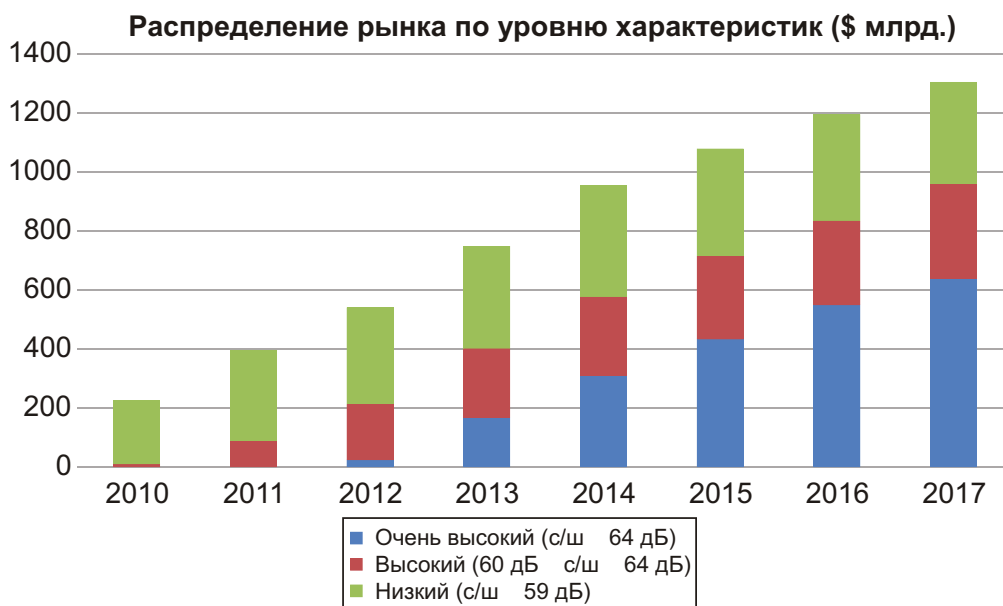


Миниатюрная пьезоэлектрическая МЭМС диафрагма компании Vesper площадью всего 0.5 мм² (вверху), соединенная проволочными выводами со специализированной аналоговой микросхемой (внизу). (Источник: Vesper).

треугольников (см. фотографию), проходя сквозь зазоры между которыми, звук заставляет треугольники вибрировать и вырабатывать пьезоэлектрический ток. По утверждению специалистов Vesper, чувствительность их пьезоэлектрического материала позволяет вдвое увеличить расстояние, на котором микрофон может «услышать» звук, что существенно сокращает шумы, улучшая разборчивость речи при разговорах по телефону и снижает вероятность возникновения ошибок при распознавании голосовых команд. А в системах, использующих несколько микрофонов, эти устройства с высоким отношением сигнал/шум позволяют легче формировать лучи для их ориентации в направлении говорящего человека (в маркетинге это называют «аудио зумом»), что, в свою очередь, повышает точности восприятия голосовых команд.

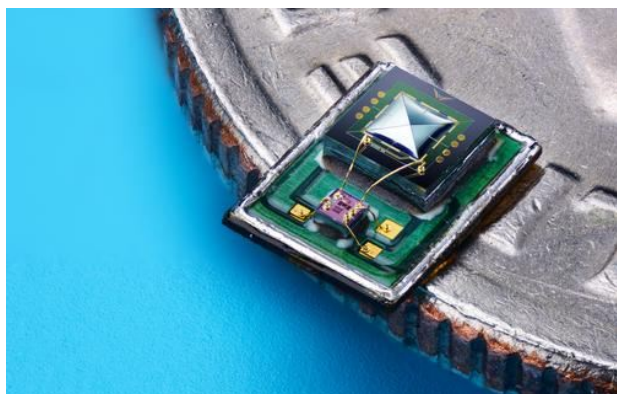
Кроули повторил, что Vesper, сохраняя приверженность своему бизнес плану, будет поставлять МЭМС пластины, содержащие микрофоны с размерами 0.5 0.5 0.25 мм, ведущим OEM производителям, которые будут добавлять к микрофонам специализированные аналоговые микросхемы с несимметричным входом, упаковывать их в корпуса размером 3.35 2.5 1 мм и использовать готовые изделия для прямой замены емкостных МЭМС микрофонов.

Продажа только неразрезанных пластин – это стратегия, используемая компанией Infineon в отношении своих МЭМС микрофонов и позволившая ей захватить существенную долю мирового рынка, включая таких производителей МЭМС микрофонов, как AAC, Goertek, BSE, Hosiden и Gettop, все из которых сегодня используют кристаллы Infineon. Дополнительно увеличить объем продаж Vesper планирует за счет выхода на рынок микрофонов для смартфонов, носимой электроники и Интернета вещей, который по прогнозу IHS к 2017 году вырастет до



Рынок микрофонов высокой четкости (синий) – самый быстрорастущий сегмент рынка МЭМС систем. на который, согласно прогнозам, к 2017 году будет приходиться почти половина продаж от совокупного объема в \$1.3 млрд. (Источник: IHS).

5.4 млрд. устройств, что в денежном выражении составит \$1.3 млрд. (см. диаграмму).



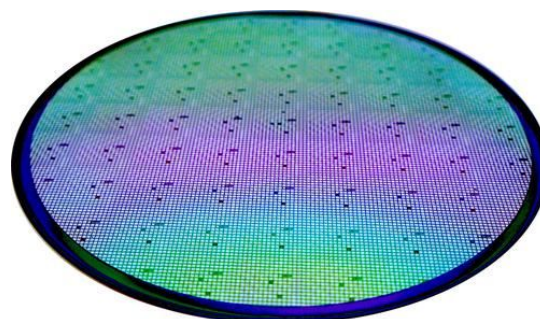
Пьезоэлектрический микрофон компании Vesper с нижним расположением акустического порта, показанный без крышки, на краю десятицентовой монеты. (Источник: Vesper)

По словам соучредителя и технического директора компании Vesper Бобби Литтрелла (Bobby Littrell), компания планирует также выйти на автомобильный рынок, где в самых продвинутых моделях используется до 20 МЭМС микрофонов, с помощью которых формируется узкий луч (аудио зум) и понижается уровень шумов.

«Для формирования диаграммы направленности в автомобилях используется по два

микрофона на каждого пассажира, ряд микрофонов для активного подавления шумов, а в некоторых случаях, еще МЭМС микрофоны для диагностики проблем в двигателе, и, конечно же, для прослушивания окружающей обстановки», – сообщил Литтрелл.

В Vesper особо подчеркивают, что их пьезоэлектрические микрофоны потребляют всего 150 микроампер, а время выхода на режим в 5-10 тысяч раз меньше, чем у емкостных микрофонов – от 5 до 10 мкс вместо 50 мс для современных МЭМС микрофонов, поскольку пьезокерамические материалы не нуждаются в схеме накачки заряда. Кроме того, в Vesper заявляют, что их микрофоны



Vesper планирует продавать свои микрофоны на пластинах, которые OEM производители будут разрезать на кристаллы и корпусировать. (Источник: Vesper)

выдерживают погружение в воду на глубину до 5 м и не боятся ударов. Также они полностью защищены от пыли и других частиц, ухудшающих подавление шумов и направленность микрофонов. Кроули заметил, что второй по частоте причиной неисправности смартфонов с емкостными микрофонами являются загрязняющие частицы, попадающие за поврежденные защитные экраны.

На данный момент Vesper уже отправила образцы одиннадцати производителям

оборудования, а отгрузку промышленных партий планирует начать в четвертом квартале 2015 года, чтобы пьезоэлектрические МЭМС микрофоны могли быть установлены в конечном оборудовании как раз к ближайшему Рождеству.

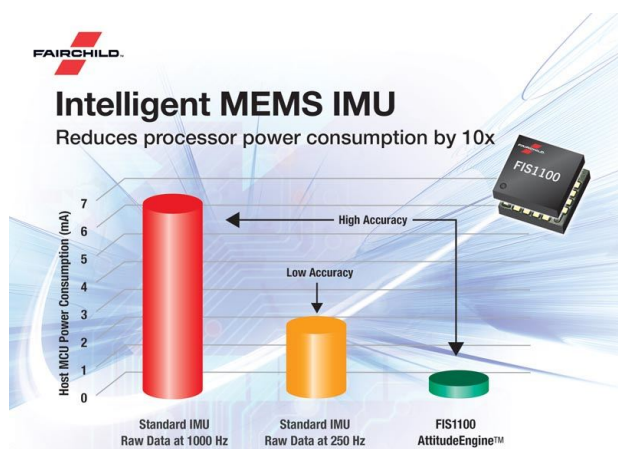
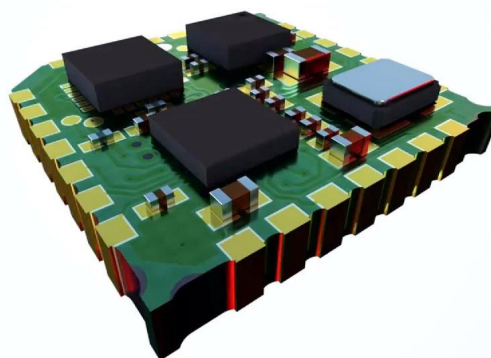
Vesper была основана венчурной компанией Atlas (Кембридж, шт. Массачусетс), а лицензия на пьезоэлектрические микрофоны была приобретена у Мичиганского Университета.

Fairchild осваивает новую линейку продуктов – инерциальные измерительные устройства на основе МЭМС

Первое в мире потребительское устройство для измерений тангажа, крена и угла рысканья с встроенным процессором движения AttitudeEngine увеличивает время работы от батарей и упрощает использование инерциальных датчиков в разработках пользователей

Fairchild приступила к производству 6-осевого МЭМС инерциального измерительного устройства (Inertial Measurement Unit – IMU) FIS1100 – первого прибора компании, созданного в рамках стратегических инвестиций в МЭМС и отслеживание движения. В IMU FIS1100 интегрирован запатентованный процессор движения AttitudeEngine с лучшим в своем классе сочетанием датчиков и 9-осевых алгоритмов обработки сигналов, предоставляющий разработчикам исключительно энергоэффективное и легко реализуемое решение системного уровня для широкого диапазона параметров движения.

эффективным системным решением, предоставляющим пользователям технологию создания постоянно включенных датчиков, востребованных для широкого круга приложений, включая носимые сенсоры для спорта, фитнеса и здоровья, пешеходную навигацию, автономных роботов и средства виртуальной реальности.

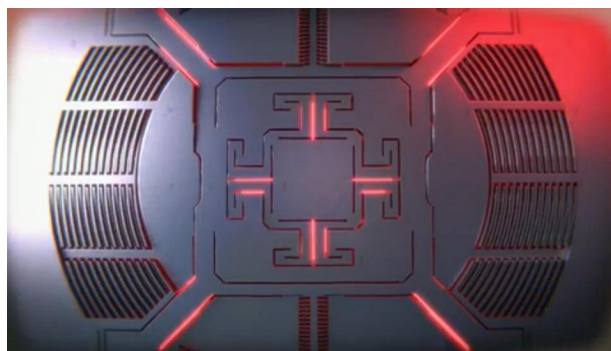


IMU FIS1100 с встроенным процессором движения AttitudeEngine и библиотекой XKF3 является исключительно точным и энергоэф-

фективным системным решением, предоставляющим пользователям технологию создания постоянно включенных датчиков, востребованных для широкого круга приложений, включая носимые сенсоры для спорта, фитнеса и здоровья, пешеходную навигацию, автономных роботов и средства виртуальной реальности. AttitudeEngine с высокой скоростью обрабатывает инерциальные данные по шести осям, а затем передает их хост-процессору в компактном формате и с невысокой скоростью, исключая необходимость в частых прерываниях. Это позволяет системному процессору дольше оставаться в спящем режиме, увеличивая время автономной работы устройств с батарейным питанием без ущерба для их функциональности и точности. Встроенная библиотека алгоритмов XKF3

для обработки информации от 9-осевых датчиков объединяет инерциальные данные, поступающие от внутренних гироскопов и акселерометров, с данными от внешнего магнитометра. Блок датчиков содержит также устройство фоновой автокалибровки, обеспечивающее отличные характеристики в части точности, воспроизводимости и плавности переходов. FIS1100 в сочетании с набором алгоритмов ХКФ3 является первым в мире законченным потребительским устройством для инерциальных измерений, гарантирующим точность измерений по тангажу и крену не хуже $\pm 3^\circ$, и $\pm 5^\circ$ по углу рысканья.

При изготовлении FIS1100 используется запатентованный Fairchild МЭМС-процесс, разработанный специально для производства инерциальных датчиков. В процессе реализован ряд конструктивных решений, направленных на оптимизацию параметров, размеров и надежности. Это, в частности, лучшие в отрасли 60-микронные слои с боль-



шим соотношением сторон, межсоединения, выполняемые через переходные отверстия в кремнии, и вертикальные электроды, а также гироскоп и датчик ускорения на одном кристалле, имеющие уникальную конструкцию с двойным вакуумом.

Доступность

FIS1100 выпускается в корпусе размером 3.3 3.3 1 мм. Заказчики могут получить единичные образцы приборов, а также разместить заказы на крупные партии.



Демонстрационное видео

Это не просто Raspberry Pi

David Blaza

Embedded.com

Для тех из нас, кто работал в области встраиваемой электроники в течение нескольких лет, было забавно наблюдать за стремительным ростом популярности мини-компьютера Raspberry Pi, который к настоящему времени разошелся в количестве более четырех миллионов экземпляров. В новом Pi 2 (Рисунок 1) даже есть четырехъядерный процессор ARM Cortex-A7, работающий на частоте 900 МГц, что дает шестикратное увеличение производительности по сравнению с оригиналом при сохранении той же цены \$35 – закон Мура в действии, друзья.

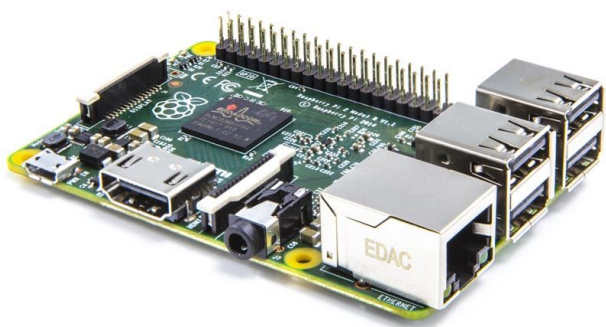


Рисунок 1.

Тем не менее, я думаю, что Raspberry Pi является просто наиболее ярким примером из целой волны новых встраиваемых компьютерных плат (одноплатных компьютеров и компьютеров/систем на модуле), быстро заполняющих рынок. Еще пару лет назад было доступно всего несколько компьютерных плат на основе ARM, предназначенных для прототипирования или для производственных систем, но теперь такие продукты предлагают сотни поставщиков. Так что же случилось?

Моя трактовка заключается в том, что мы наблюдаем за действием «просачивающейся технологии» в ее чистом виде. Под этим я понимаю, что передовые технологии сначала разрабатываются и внедряются в критические или быстрорастущие приложения, а затем их стоимость снижается, и технологии перемещаются (или просачиваются) в сферу массового использования. История технологий полна таких примеров – микроволновые печи, радар, тефлон, миникомпьютеры, персональные компьютеры и – в данном случае – смартфоны. Здесь удивительные достижения в области мобильных технологий, опирающиеся на производимые в больших объемах малопотребляющие многоядерные процессоры, просачиваются в другие сферы применения и отрасли промышленности. Я не одинок в таких суждениях. Крис Андерсон (Chris Anderson) бывший главный редактор журнала Wired, а теперь генеральный директор стартап-компании 3D Robotics, выпускающей дронов (Рисунок 2), объясняет рас-



Рисунок 2.

пространение дронов просачиванием мобильных технологий (в частности процессоров, аккумуляторов и средств связи).

Весь феномен Интернета вещей (IoT) можно рассматривать как последний пример просачивающейся технологии, поскольку IoT представляет собой сочетание датчиков, процессоров, средств связи и средств хранения информации, стоимость которых падает столь быстро, что может появиться абсолютно новый рынок. Но вернемся к нашему примеру с встраиваемыми платами. Давайте более подробно обсудим движущую силу рынка. Выходя за рамки рассказа о Raspberry Pi, ниже мы рассмотрим некоторые инновационные, готовые к производству и долговечные платы, нередко в защищенном исполнении, на которых установлены процессоры Freescale, Texas Instruments, Atmel, NVIDIA, Qualcomm и Xilinx, и которые вы можете свободно купить сегодня.

Freescale

Freescale является пионером в области встраиваемых компьютерных систем. Она присутствовала при рождении стандарта плат VME и в течение последних трех десятилетий всеми силами поддерживала бизнес в сфере производства встраиваемых плат. Большой успех принесли Freescale процессоры семейства i.MX6 с момента начала их выпуска в 2011 году. Как сказала мне менеджер по продукции Freescale Александра Допплингер (Alexandra Dopplinger), у них есть более 20,000 конечных клиентов, использующих платы на базе i.MX6. Например, Boundary Devices предлагает плату с четырехъядерным процессором ARM Cortex-A9, которая называется Nitrogen6x (Рисунок 3) и стоит менее \$200.



Рисунок 3.

Texas Instruments

Компания Texas Instruments также была ведущим игроком на рынке встраиваемых плат и активно продвигала семейство процессоров OMAP, «просочившееся» из ее инноваций в области мобильных технологий, однако теперь процессоры Sitara устанавливаются на платах многих поставщиков. В процессоре Sitara AM335X используется ядро ARM Cortex-A8, и фирма PHYTEC продает законченные одноплатные компьютеры или системы-на-модуле на основе Sitara (Рисунок 4) в различных конфигурациях по цене менее \$100.

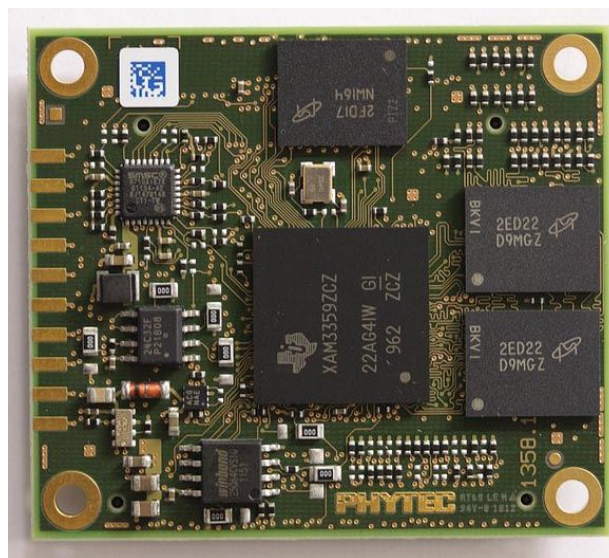


Рисунок 4.

Atmel

Atmel – относительно новый участник на рынке встраиваемых компьютерных плат, но компания сумела расчистить себе дорогу благодаря удачному процессору ATSAMA5 (ARM Cortex-A5), который может похвастаться сочетанием очень низкого энергопотребления с возможностью запуска полнофункционального Linux'a на системе-на-модуле или компьютере-на-модуле ценой около \$50. Менеджер по продукции Томас Обен (Thomas Aubin) сказал мне, что Atmel гарантирует поставку ATSAMA5 в течение 10 лет, и на тот же период времени заключила соглашения на поставку памяти с Micron, ISSI и Winbond. Это означает, что если вы планируете использовать эти компоненты в устройствах с большим жизненным циклом, от проблем с комплектующими вы будете полностью застрахованы. ACME Systems

предлагает показанный на Рисунке 5 очень компактный компьютер-на-модуле (53 53 мм).



Рисунок 5.

Xilinx

Одним из больших преимуществ экосистемы ARM является то, что производители кремниевых структур могут взять лучшее из архитектуры ARM и объединить с собственными наработками, чтобы предложить поставщикам плат уникальные возможности. Прекрасным примером этого является микросхема Xilinx Zynq, в которой сочетаются двухъядерный процессор ARM Cortex-A9 и программируемая ПЛИС (Рисунок 6). Дэйв Токич (Dave Tokic) из Xilinx говорит, что такой подход дает разработчикам большую гибкость в подходе к проекту – они могут использовать Cortex-A9 для работы системы, а FPGA задействовать для очень ресурсоемких вычислительных функций, таких как обработка видео на одном устройстве.



Рисунок 6.

Avnet предлагает плату ZedBoard на базе Zynq (а также доступ к живому онлайн-сообществу) всего за \$249, что является невероятно низким начальным взносом за вход в мир FPGA.

GE Automation

Другим примером уникальных возможностей встраиваемых вычислений является плата формата mini COM Express компании GE Automation с системой-на-кристалле NVIDIA Tegra K1 (Рисунок 7). Tegra K1 имеет четыре ядра ARM Cortex-A15, дополненные 192 графическими процессорами CUDA, дающими невероятные возможности обработки видео при низкой стоимости и, что еще более важно, низкой мощности (менее 10 Вт). GE Automation настолько уверена в своей плате, что уже использует ее в качестве основной системы визуальной навигации для посадки на Луну (где нет GPS), являющейся составной частью проекта компании Astrobotic, работа над которым ведется в рамках участия в объявленном Google конкурсе Lunar XPRIZE. Плата способна работать в космосе и стоит менее \$1000.

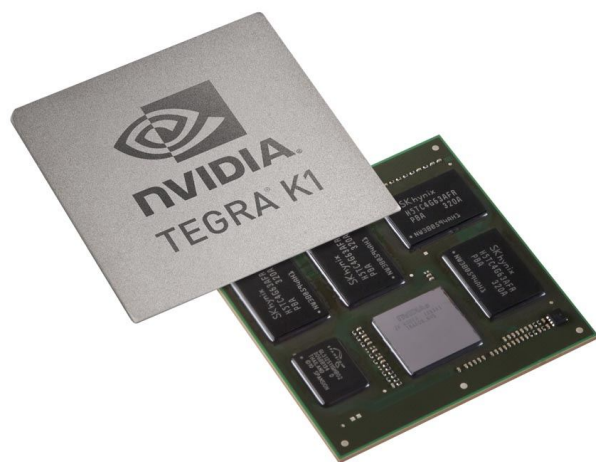


Рисунок 7.

Qualcomm

Компания Qualcomm хорошо известна благодаря инновациям в области средств связи, поэтому вы вправе ожидать, что ее встраиваемый процессор изобилует различными коммуникационными возможностями, и в этом плане Snapdragon не разочаровывает вас. Новейшая модель Qualcomm Snapdragon 810 (Рисунок 8) представляет собой 64-битный восьмиядерный процессор (4

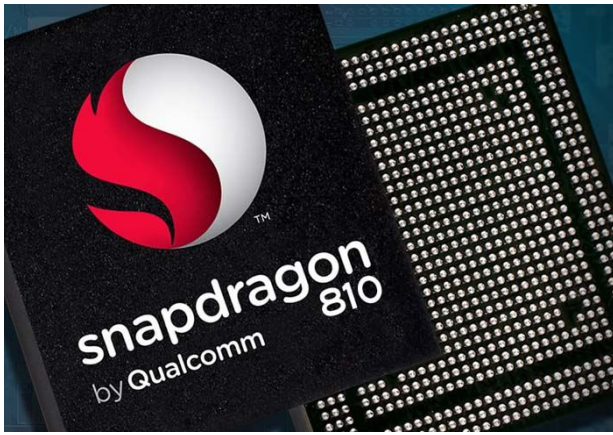


Рисунок 8.

ARM Cortex-A57 и 4 ARM Cortex-A53) с Wi-Fi, Bluetooth и GPS, так что у разработчика систем есть множество способов подключения к нему. Процессор Snapdragon недавно появился на новых платах канадской компа-

нии Intrinsic, которые продаются по стандартной цене \$495 (системы-на-модуле должны стоить меньше).

Заключение

В этой статье мы бросили беглый взгляд на шесть компаний, производящих процессоры, каждая из которых использует свой уникальный опыт проектирования, чтобы дать поставщикам плат и, в конечном счете, разработчикам систем, невероятные возможности, «просочившиеся» из достижений в области мобильных устройств. Raspberry Pi является лишь одним из примеров технологии просачивания, но сегодня существует более сотни производителей плат, пользующихся инновациями в области полупроводников и предоставляющих их обширному миру встраиваемых систем для различных долговечных и надежных приложений. **РЛ**

О возможности улучшения динамических характеристик прецизионных выпрямителей напряжения

Часть 2

Окончание. Начало в номере 06-2015

Сергей Лозицкий, г. Брянск

В [13] отмечается, что математический анализ нелинейных схем довольно трудоемок, и поэтому, используя линейные допущения, анализ нелинейных схем обычно сводят к анализу их линейных схем замещения. В ФМС основные проблемы выпрямления сигналов малого уровня возникают на временных интервалах, когда закрыты оба диода НСх [3, 11], поэтому естественное линейное допущение заключается в замене диодов конденсаторами, емкости C_{D0} которых равны паразитным емкостям этих диодов при их

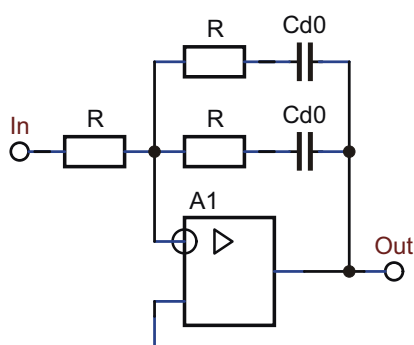


Рисунок 11. Эквивалентная малосигнальная схема замещения НСх, соответствующая нулевому уровню входного сигнала.

нулевом смещении. При выполнении этого допущения НСх может быть представлена эквивалентной линейной схемой замещения, изображенной на Рисунке 11.

Нетрудно показать, что передаточная функция схемы на Рисунке 11, в гипотетическом случае использования в ее составе идеального ОУ, имеет следующий вид:

$$T_{ID}(jF) = \frac{V_{OUT}(jF)}{V_{IN}(jF)} = 0.5 \frac{jF \cdot F_Z}{jF}. \quad (10)$$

Функция (10) реализует полюс передачи в начале координат и вещественный нуль передачи с частотой:

$$F_Z = \frac{1}{2 C_{D0} R}. \quad (11)$$

При выполнении условия $F \ll F_Z$ выражение (10) можно упростить:

$$T_{ID}(jF) = \frac{0.5 F_Z}{jF} = \frac{B_{ID}}{jF}. \quad (12)$$

Выражение (12) совпадает с передаточной функцией интегратора, произведение B_{ID} частота–усиление (частота единичного усиления) которого рассчитывается по формуле:

$$B_{ID} = 0.5F_z \frac{1}{4 C_{D0}R}. \quad (13)$$

Результаты расчета B_{ID} по формуле (13) для ряда значений R и C_{D0} сведены в Таблице 2.

Таблица 2. Зависимость B_{ID} от сопротивлений резисторов и паразитной емкости диодов

R, кОм	Величина B_{ID} , МГц, при емкости C_{D0} , равной			
	1 пФ	2 пФ	3 пФ	4 пФ
0.5	159	79.6	53.1	39.8
1	79.6	39.8	26.5	19.9
5	15.9	7.96	5.31	3.98
10	7.96	3.98	2.65	1.99
20	3.98	1.99	1.33	0.995

Теперь предположим, что в схеме на Рисунке 11 используется ОУ, передаточная функция которого аппроксимируется выражением:

$$A(jF) = \frac{F_T}{jF} \frac{B}{jF}. \quad (14)$$

В этом случае передаточная функция схемы замещения НСх имеет следующий вид:

$$T(jF) = \frac{B}{j3F} \frac{jF}{jF} \frac{F_z}{F_p}. \quad (15)$$

Функция (15) реализует полюс передачи в начале координат и вещественный нуль передачи, частота F_z которого рассчитывается по формуле (11), а также вещественный полюс, частота F_p которого определяется выражением:

$$F_p = \frac{F_z}{3} \frac{2B}{1}. \quad (16)$$

На частотах значительно меньших частот особых точек ($F \ll F_z$ и $F \ll F_p$) передаточ-

ную функцию (15) можно представить следующим приближенным выражением:

$$T(jF) = \frac{B/3}{jF} \frac{F_z}{F_p} \frac{B_T}{jF}. \quad (17)$$

Выражение (17) совпадает с передаточной функцией интегратора, частота B_T единичного усиления которого рассчитывается по формуле:

$$B_T = \frac{B}{1} \frac{B}{B_{ID}}. \quad (18)$$

Логарифмические АЧХ Бодэ [12] передаточных функций $T(jF)$, $T_{ID}(jF)$ и $A(jF)$, соответствующие случаю $B > B_{ID}$, изображены на Рисунке 12.

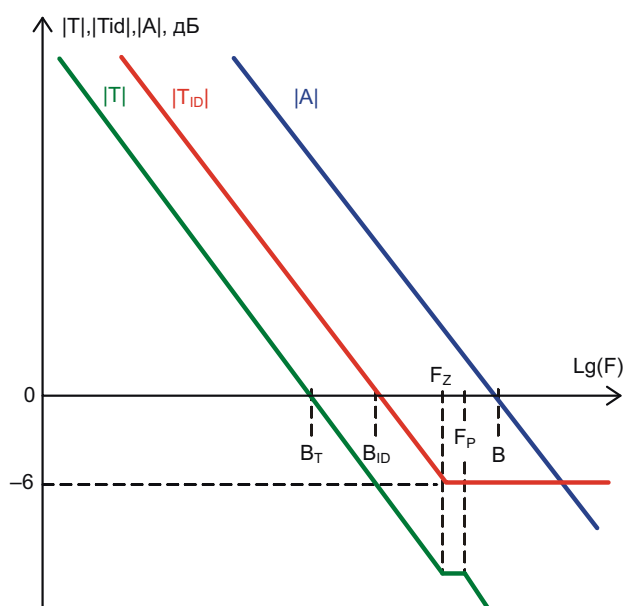


Рисунок 12. Логарифмические АЧХ Бодэ эквивалентной схемы НСх (Рисунок 11).

При прочих равных условиях скорость изменения выходного сигнала интегратора пропорциональна частоте его единичного усиления и, следовательно, для улучшения динамических характеристик схемы на Рисунке 11 (для уменьшения времени пересечения выходным сигналом ОУ реальной НСх «мертвой зоны», равной падению напряжения на двух прямосмещенных диодах) необходимо максимизировать величину B_T . Из (18) следует, что в двух

предельных случаях величина V_T лимитируется величинами V и V_{ID} :

$$V_T = \begin{cases} V_{ID} & \text{при } V \gg V_{ID} \\ V & \text{при } V \ll V_{ID} \end{cases} \quad (19)$$

Из (13) следует, что в первом предельном случае ($V \gg V_{ID}$) величина $V_T = V_{ID}$ может быть увеличена только за счет уменьшения номиналов резисторов НСх и использования в ней диодов с малой паразитной емкостью C_{D0} . Во втором предельном случае ($V \ll V_{ID}$) увеличение $V_T = V$ может быть достигнуто только увеличением площади усиления ОУ, входящего в состав НСх. В более реалистичной ситуации, когда не выполняется ни одно из двух условий (19), величина V_T зависит как от V , так и V_{ID} . Возникает закономерный вопрос: какая из величин V , V_{ID} оказывает наибольшее (доминирующее) влияние на V_T ? Для получения ответа на этот вопрос преобразуем выражения (18) к следующему виду:

$$V_T = V M_B = V_{ID} M_{ID}, \quad (20)$$

где:

$$M_B = \frac{V_T}{V} = \frac{1}{1 + V/V_{ID}}. \quad (21)$$

$$M_{ID} = \frac{V_T}{V_{ID}} = \frac{1}{1 + V_{ID}/V} = 1 - M_B. \quad (22)$$

Безразмерный коэффициент M_B , величина которого находится в диапазоне значений (0...1), характеризует степень влияния произведения V усиление-частота ОУ на величину частоты V_T единичного усиления результирующей передаточной функции $|T|$ схемы замещения НСх. Коэффициент M_{ID} характеризует степень влияния на V_T конечной величины V_{ID} или, с учетом (13), влияние паразитных емкостей C_{D0} диодов и сопротивлений R схемы замещения НСх. Результаты расчета коэффициентов M_B , M_{ID} по формулам (21), (22) для ряда значений отношения V/V_{ID} приведены в Таблице 3.

Таблица 3. Зависимости M_B , M_{ID} от отношения V/V_{ID}

V/V_{ID}	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	8	10
M_B	0.91	0.83	0.67	0.50	0.33	0.25	0.20	0.11	0.09
M_{ID}	0.09	0.17	0.33	0.50	0.67	0.75	0.80	0.89	0.91

При $M_B > 0.5$ (при $M_{ID} < 0.5$) частота V_T единичного усиления схемы замещения НСх в большей степени лимитируется частотными

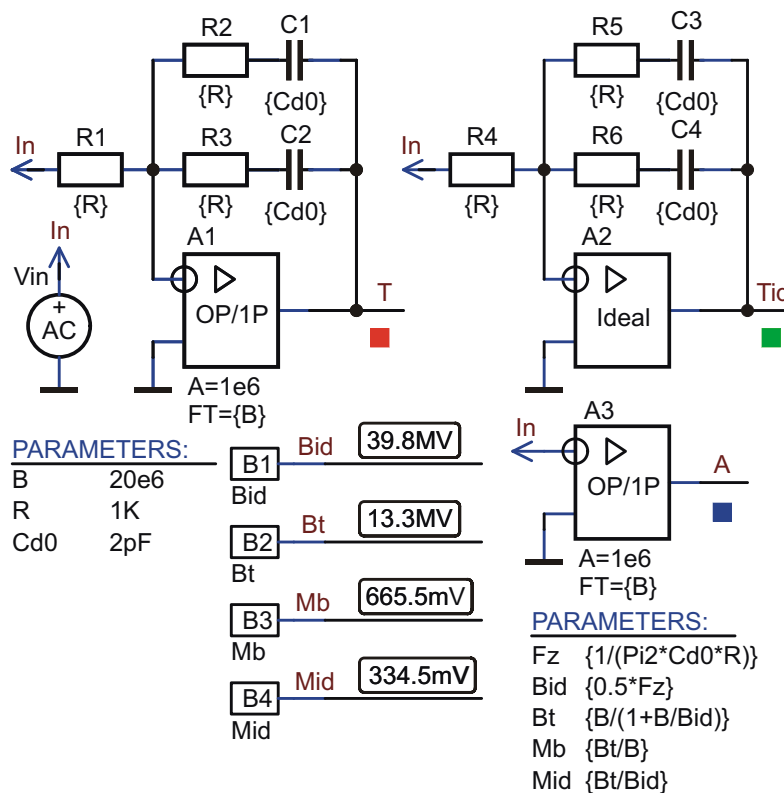


Рисунок 13. Схема тестирования линейного эквивалента НСх.

свойствами ОУ и в меньшей – величиной произведения $C_{D0}R$. Физический смысл коэффициента M_B можно трактовать как количественную меру использования потенциальных динамических возможностей ОУ. Так, например, выполнение условия $M_B < (0.1...0.2)$ означает, что в НСх частотные возможности ОУ используются крайне неэффективно. В этом случае целесообразно реализовать одну из двух альтернатив:

1. По экономическим соображениям использовать в НСх менее широкополосный ОУ;
2. С целью уменьшения динамической составляющей ошибки преобразования ФМС использовать в НСх резисторы меньших номиналов и/или диоды с малыми величинами паразитных емкостей.

На Рисунке 13 изображена схема тестирования, которая по задаваемым пользователем параметрам B , R , C_{D0} позволяет оперативно рассчитать величины параметров V_{ID} , V_T , M_B , M_{ID} схемы замещения НСх и построить графики ЛАЧХ передаточных функций A , T_{ID} и T .

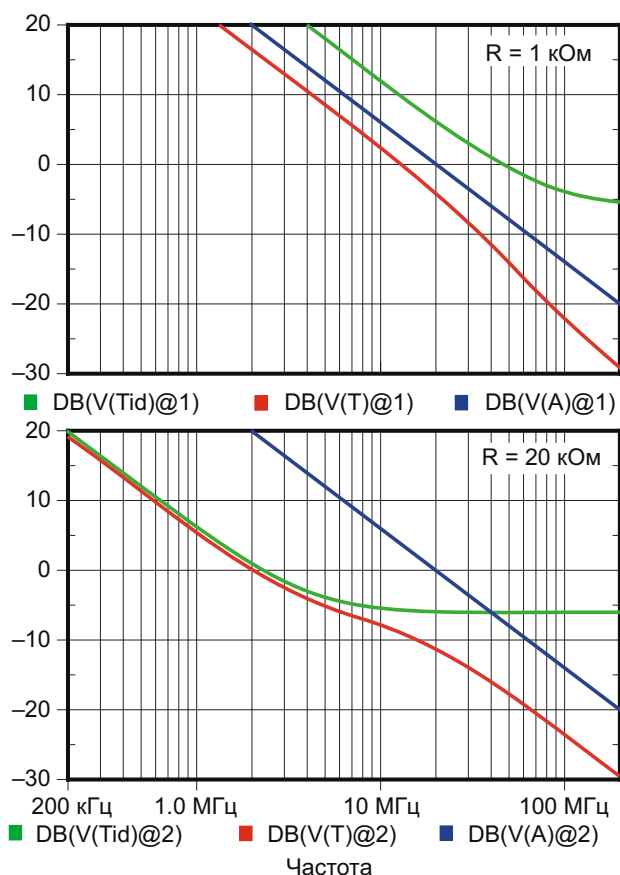


Рисунок 14. ЛАЧХ передаточных функций A , T_{ID} , T .

В схеме на Рисунке 13 АФБ $V1...V4$ используются для индикации результатов автоматически выполняемого расчета величин параметров V_{id} , V_t , M_b , M_{id} . На Рисунке 14 изображены графики ЛАЧХ передаточных функций A , T_{ID} , T , полученные в результате двухвариантного анализа схемы (Рисунок 13) при величинах параметра R , равных 1 и 20 кОм.

Графики, изображенные на Рисунке 14, наглядно показывают, что в результате уменьшения параметра R с 20 до 1 кОм частота V_T единичного усиления передаточной функции T схемы замещения НСх увеличивается более чем в 7 раз (приблизительно с 1.8 до 13.3 МГц).

Совершенно очевидно, что результаты проведенного анализа линейной схемы замещения НСх не позволяют установить однозначную количественную взаимосвязь ошибки преобразования ФМС с параметрами его компонентов и входного сигнала. Тем не менее, они весьма полезны, поскольку позволяют схемотехнику выявить доминирующие факторы, лимитирующие динамическую составляющую ошибки преобразования ФМС, и минимизировать влияние этих факторов путем обоснованного выбора типов ОУ и диодов, а также номиналов резисторов НСх.

Вызывает удивление, но соответствует действительности тот факт, что в подавляющем большинстве опубликованных схем ФМС, например, в [5–8, 14–16] резисторы НСх имеют номиналы либо 10 кОм, либо 20 кОм вне зависимости от типа используемого ОУ. Указанный феномен имеет исторические предпосылки. Начало массового выпуска монолитных ИМС ОУ второго поколения (LM101, LM101A, $\mu A741$, LM107, $\mu A748$) в конце шестидесятих годов прошлого века послужило мощным стимулом пересмотра традиционных принципов проектирования низкочастотной аналоговой аппаратуры. В этот период времени было опубликовано огромное количество работ, в которых описывались схемы реализации узлов аналоговой аппаратуры на интегральных ОУ. К этому периоду времени относятся и первые, известные автору, публикации [7, 8], посвященные реализации ФМС на интегральных ОУ. Итак, интегральные ОУ широко используются в узлах аналоговой аппаратуры уже более сорока лет. За указанный период времени был достигнут значительный прогресс в схе-

мотехнических решениях и технологии производства ОУ. Следствием этого стало:

- Значительное улучшение метрологических и эксплуатационных параметров ОУ;
- Расширение номенклатуры выпускаемых ОУ. Современные ОУ классифицируются по ряду признаков и, в том числе, по ключевым параметрам: прецизионные, высокоскоростные, маломощные, низковольтные, так называемые Rail-to-Rail и целый ряд других групп ОУ;

- Снижение цены интегральных ОУ (устойчивая тенденция последних десятилетий).

Прогресс, достигнутый в части улучшения параметров ОУ, впечатляет. Так, например, динамические свойства и нагрузочная способность ОУ второго поколения характеризуются следующими типовыми величинами параметров:

- произведение усиление–полоса частот: $B = (0.6...1) \text{ МГц}$;
- максимальная скорость изменения выходного напряжения: $SR = (0.5...1) \text{ В/мкс}$;

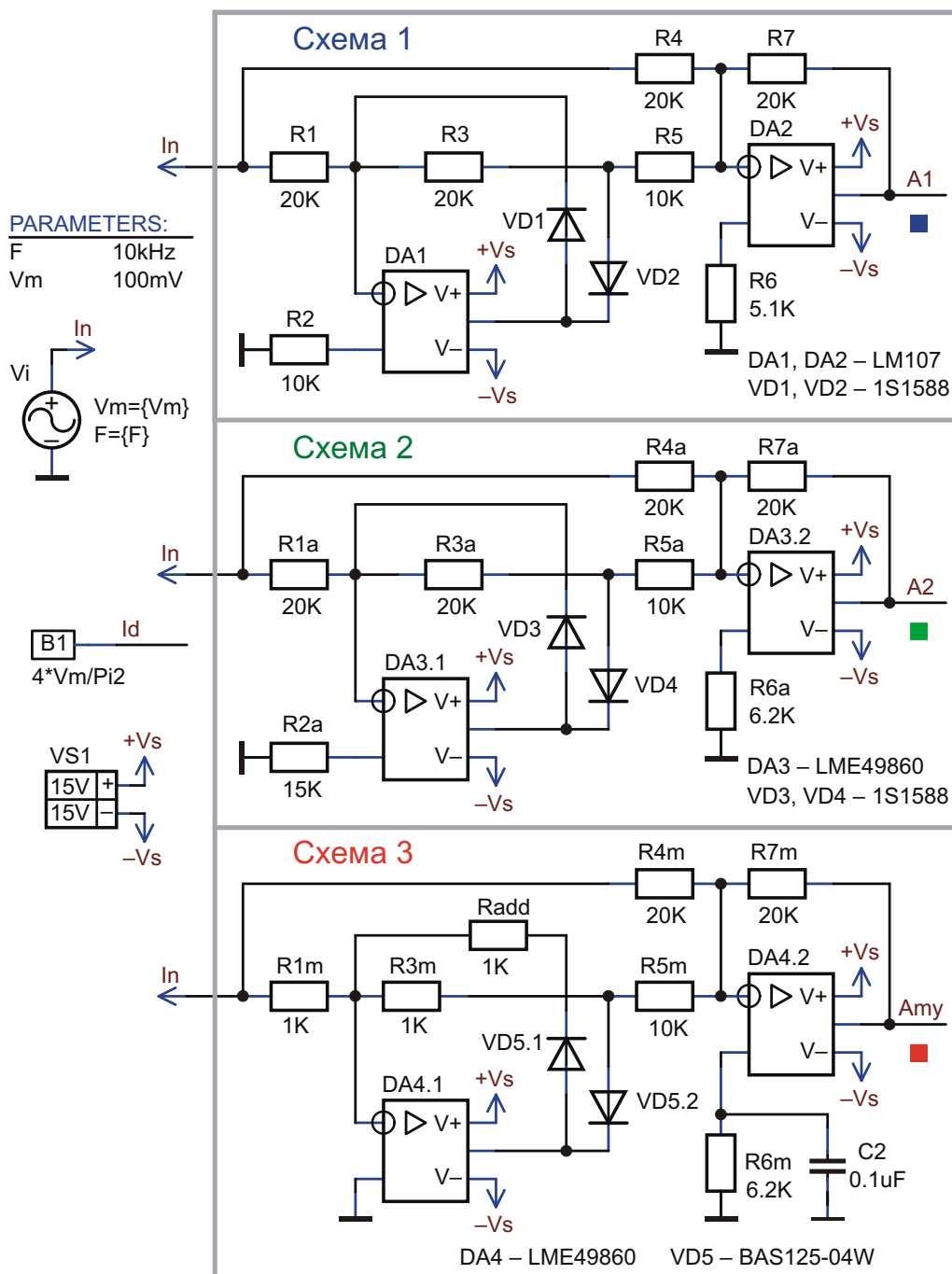


Рисунок 15. Схема тестирования трёх вариантов реализации ФМС.

- гарантированный уровень выходного напряжения при напряжении питания $\pm 15\text{ В}$ и сопротивлении нагрузки 2 кОм : $V_{\text{OUT}} \pm (10 \dots 13)\text{ В}$.

Современные высокоскоростные ОУ способны работать на нагрузку 600 Ом (некоторые ОУ способны работать на нагрузку 100 Ом), их произведение усиление-полоса частот измеряется сотнями мегагерц, а максимальная скорость изменения выходного напряжения превышает величину 1000 В/мкс .

Следует заметить, что разработчики прикладных схем далеко не всегда в полной мере используют возможности современных ОУ. Попытки модернизации некоторых схемотехнических решений (в число которых входит и ФМС) шестидесятих–семидесятих годов прошлого столетия путем простой замены ОУ второго поколения на современные ОУ не всегда дают ожидаемый эффект. Объясняется это тем, что факторы, которые лимитировали параметры аналоговых схем, реализованных на ОУ второго поколения, перестают быть доминирующими при использовании в этих схемах современных широкополосных ОУ. Поясним сказанное конкретным примером. На Рисунке 15 изображена схема тестирования трех вариантов реализации ФМС.

В схеме 1 [7, 1969 год] используются ОУ второго поколения LM107. Схема 2 [16, 2007 год] получена в результате замены в схеме 1 ОУ LM107 на современные ОУ типа LME49860. Схема 3 – модифицированный автором вариант схемы 2. Цель модификации схемы – расширение диапазонов уровней и/или частот входных сигналов при заданной величине ошибки (погрешности) преобразования ФМС. Модификация схемы заключается в:

1. уменьшении в 20 раз сопротивлений резисторов R1a, R3a;
2. использовании в схеме 3 малосигнальных диодов Шоттки;
3. включении в схему 3 дополнительного резистора Radd;
4. шунтировании резистора R6m конденсатором C1m.

Таблица 4. Некоторые параметры ММ ОУ

ММ ОУ	Параметры ММ ОУ							
	A ₀ , дБ	B, МГц	F _T , МГц	R _D , кОм	C _D , пФ	C _{CM} , пФ	V _{OS} , мВ	I _B , пА
LM107/dc	104	0.898	0.849	1800	2	2	< 10	< 1
LME49860/dc	140	55.0	38.6	30				

Основные параметры макромоделей (ММ) ОУ LM107 и LME49860 указаны Таблице 4.

В Таблице 4 обозначено:

A₀ – усиление ММ ОУ на постоянном токе;

B – произведение усиление–полоса частот ММ ОУ в полосе частот, в которой усиление уменьшается со скоростью 20 дБ на декаду частоты;

F_T – частота единичного усиления ММ ОУ;

R_D и C_D – дифференциальные составляющие соответственно входного активного сопротивления и входной емкости ММ ОУ;

C_{CM} – синфазная составляющая входной емкости ММ ОУ;

V_{OS} и I_B – напряжение смещения и входной ток ММ ОУ.

Заметим, что для исключения статических составляющих ошибок преобразования ФМС, обусловленных конечными величинами входных токов и напряжений смещения ОУ, параметры I_B и V_{OS} ММ LM107/dc и LME49860/dc скомпенсированы до пренебрежимо малых величин. Графики зависимостей погрешностей преобразования ФМС (схема на Рисунке 15) от амплитуды входного сигнала на частоте 10 кГц (см. Рисунок 16) наглядно демонстрируют последствия замены ОУ LM107 на ОУ LME49860, а также результат модификации схемы 2.

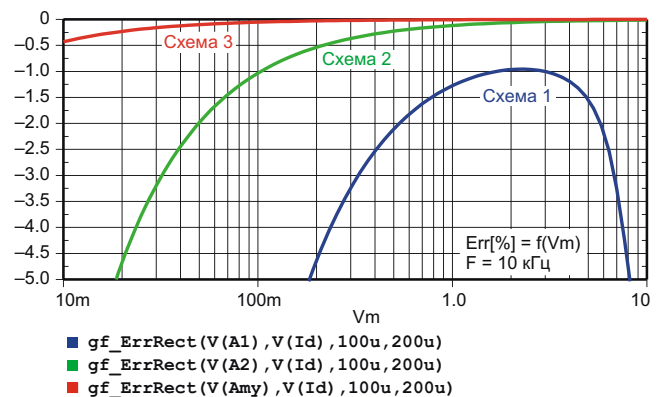


Рисунок 16. Зависимости ошибок преобразования выпрямителей (Рисунок 15) от амплитуды входного сигнала на частоте 10 кГц .

Увеличение погрешности преобразования схемы 1 при больших уровнях входного напряжения является следствием малой величины скорости нарастания выходного сигнала ОУ LM107. При амплитуде входного

сигнала 10 В характерные искажения выходного сигнала схемы 1 хорошо видны на временных диаграммах, изображённых на Рисунке 17.

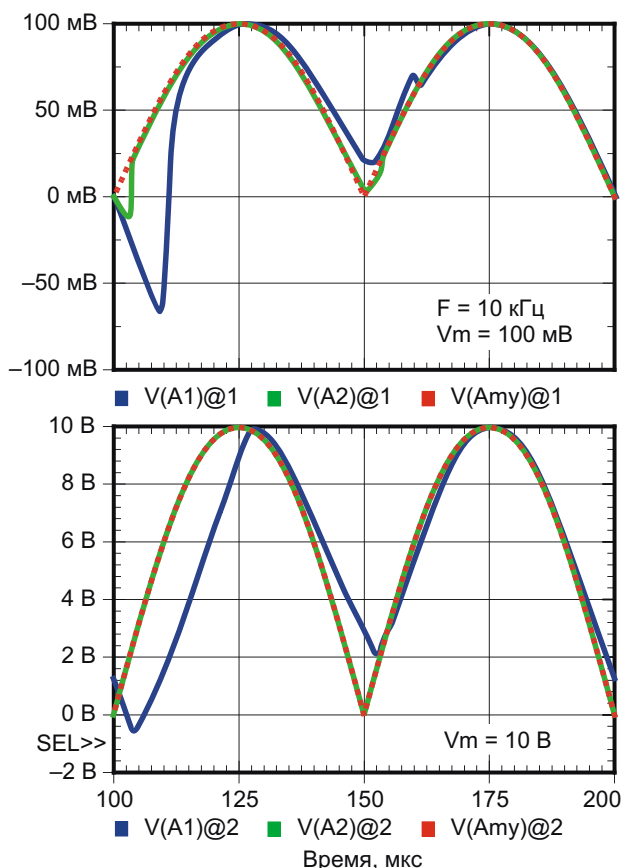


Рисунок 17. Временные диаграммы выходных напряжений ФМС (Рисунок 15).

Результаты расчёта параметров линейных эквивалентов НСх схемы на Рисунке 15, произведенные с помощью схемы тестирования (Рисунок 13), приведены в Таблице 5.

Таблица 5. Параметры линейных эквивалентов НСх схемы (Рисунок 15)

Схема на Рисунке 15	R, кОм	C _{DO} , пФ	B _T , МГц	B _{ID} , МГц	B _T , МГц	M _B
1	20	1.389	0.898	2.85	0.682	0.760
2	20	1.389	55	2.85	2.71	0.049
3	1	1.000	55	79.6	32.5	0.591

Обратите внимание на взаимосвязь величин коэффициентов B_T (см. Таблицу 5) и ошибок преобразования ФМС (см. Рисунок 16), а также на величины коэффициентов M_B, которые показывают, что в схемах 1 и 3 потенциальные динамические возможности ОУ используются достаточно эффективно, а в

схеме на Рисунке 2 – крайне неэффективно. Из полученных результатов видно, что при использовании современных широкополосных ОУ имеются значительные резервы повышения точности преобразования известных схем ФМС за счёт уменьшения номиналов резисторов, входящих в состав НСх, и использования малосигнальных диодов Шоттки. В рассмотренном примере за счет реализации предлагаемых мер улучшения динамических характеристик ФМС удалось уменьшить ошибку преобразования (схемы 3 по сравнению со схемой 2) приблизительно в 20 (!) раз. Обычно ФМС входит в состав преобразователя средневыпрямленного значения напряжения (ПСвЗН). Принципиальное отличие ФМС и ПСвЗН заключается в том, что в идеальном случае выходной сигнал ФМС равен абсолютной величине (модулю) входного сигнала, а на выходе ПСвЗН формируется постоянное напряжение, уровень которого определяется соотношением (9). Для преобразования ФМС в ПСвЗН необходимо в выходном сигнале первого устройства в идеальном случае полностью подавить (в реальной ситуации значительно ослабить) гармонические составляющие с частотами nF_{IN} (n = 2, 4, 6, ...; F_{IN} – частота входного сигнала). Выше уже отмечалось, что для ослабления уровня пульсаций выходного сигнала схемы на Рисунке 1 достаточно зашунтировать конденсатором резистор R6 цепи обратной связи сумматора напряжений. Уровень пульсаций выходного напряжения ПСвЗН принято характеризовать величиной коэффициента пульсаций:

$$K_{\text{RIPPLE}}[\%] = \frac{V_{\text{PP}}}{V_0} \cdot 100. \quad (23)$$

В (23) обозначено: V_{PP} и V₀ – соответственно, размах пульсаций и постоянная составляющая выходного напряжения ПСвЗН. Емкость конденсатора C1, при которой обеспечивается желаемая величина коэффициента K_{RIPPLE} с достаточной для инженерной практики точностью можно рассчитать по следующей приближенной формуле:

$$C_1 = \frac{33.3}{F_{\text{IN}} R_6 K_{\text{RIPPLE}}[\%]}. \quad (24)$$

В тех случаях, когда требуется обеспечить малый уровень пульсаций при преобразова-

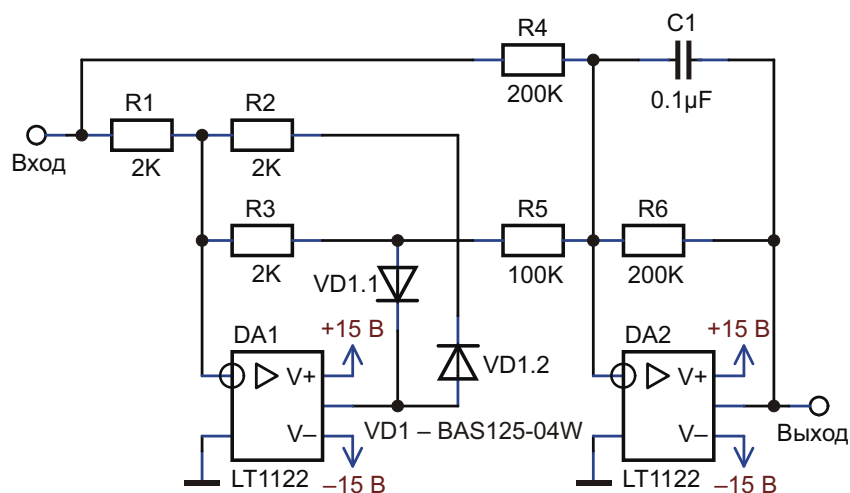


Рисунок 18. Схема прецизионного ПСвЗН.

нии сигналов низкой частоты, емкость и габариты конденсатора С1 могут оказаться неприемлемо большими. Из (24) следует, что уменьшить емкость конденсатора С1 при неизменной величине коэффициента пульсаций можно за счет увеличения сопротивлений резисторов, входящих в состав сумматора напряжений. Однако в этом случае возрастает статическая составляющая погрешности преобразования, обусловленная конечными величинами входных токов ОУ. Из сказанного следует, что рассмотренную возможность уменьшения емкости конденсатора С1 целесообразно использовать в случае реализации ПСвЗН на ОУ с полевыми транзисторами на входе, входные токи которых пренебрежимо малы. Схема ПСвЗН, реализованного на ОУ с полевыми транзисторами на входе, изображена на Рисунке 18.

Результаты тестирования трех вариантов реализации этой схемы, отличающихся только типом используемых ОУ, представлены графиками (см. Рисунок 19) зависимостей ошибок преобразования от амплитуды входного сигнала на частоте 100 кГц.

К ОУ, используемым в ФМС и ПСвЗН, предъявляются противоречивые требования: для обеспечения малых величин динамической и статической составляющих погрешности преобразования они одновременно должны быть широкополосными и прецизионными. Современные интегральные ОУ не отвечают указанным требованиям. Совместить высокие динамические и статические характеристики, а также обеспечить высокую нагрузочную способность, позволяют так называемые композитные усилители [17, 18], представля-

ющие собой сборку из прецизионного и широкополосного ОУ. В композитном усилителе статические характеристики практически полностью определяются прецизионным ОУ, а динамические характеристики и нагрузочная способность – широкополосным ОУ. Схема широкополосного прецизионного

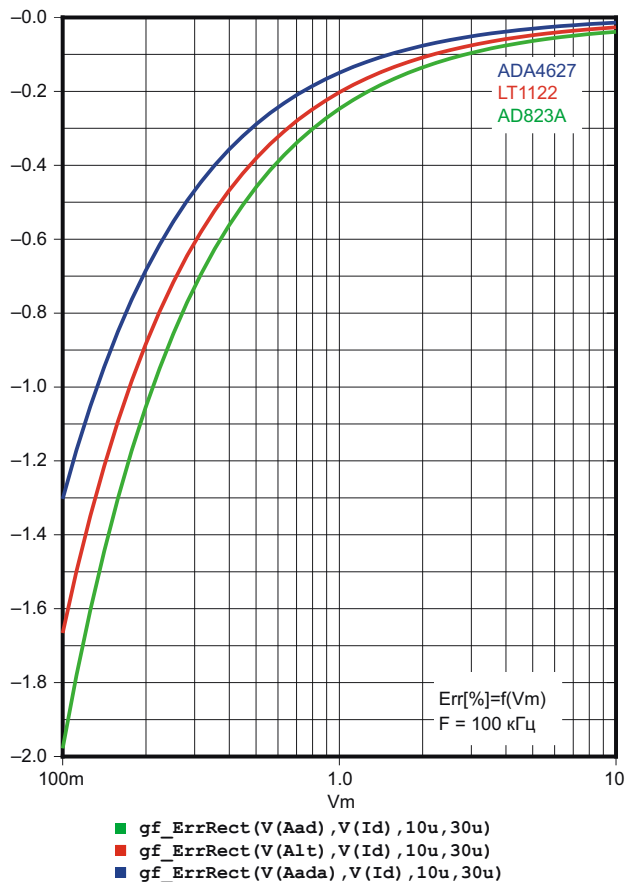


Рисунок 19. Зависимости ошибок преобразования ПСвЗН (Рисунок 18) от амплитуды входного сигнала.

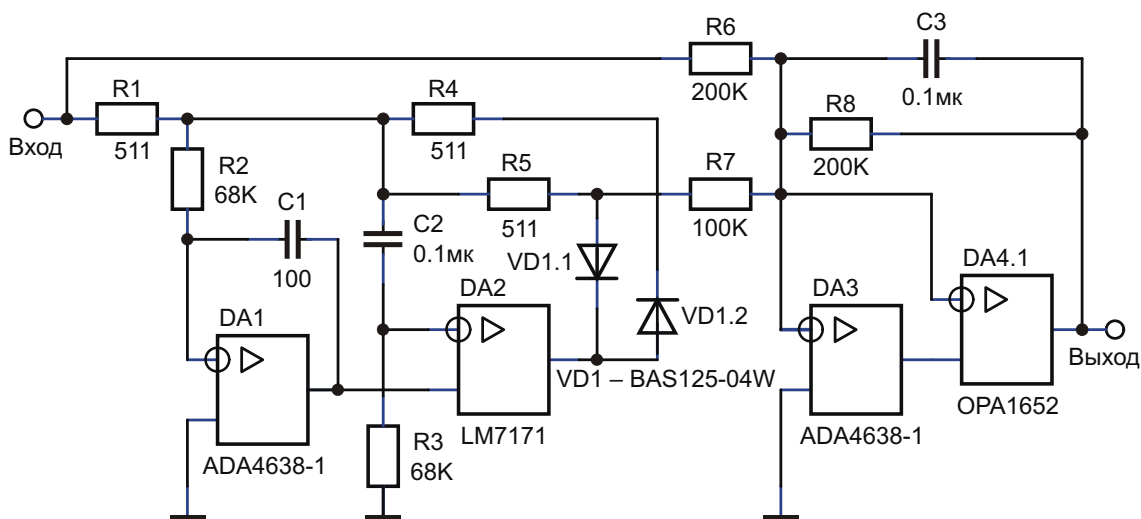


Рисунок 20. Схема широкополосного прецизионного ПСвЗН.

ПСвЗН, реализованного на композитных ОУ, изображена на Рисунке 20.

Таблица 6. Некоторые параметры ОУ схемы (Рисунок 20).

ММ ОУ	Параметры ММ ОУ			
	B, МГц	F _T , МГц	V _{os} , Туп/Мах	I _B , Туп/Мах
ADA4638-1	1.52	1.39	0.5/4.5 мкВ	45/90 пА
LM7171	254	201	0.2/3 мВ	2.7/10 мкА
OPA1652	18	21	0.5/1.5 мВ	10/100 пА

НСх преобразователя реализована на композитном усилителе, в состав которого входят ОУ с нулевым дрейфом (Zero-Drift) типа ADA4638-1 [19] и широкополосный ОУ типа LM7171 (некоторые параметры этих ОУ приведены в Таблице 6). RC-цепь C2, R3 исключает составляющую статической ошибки преобразования, обусловленную больши-

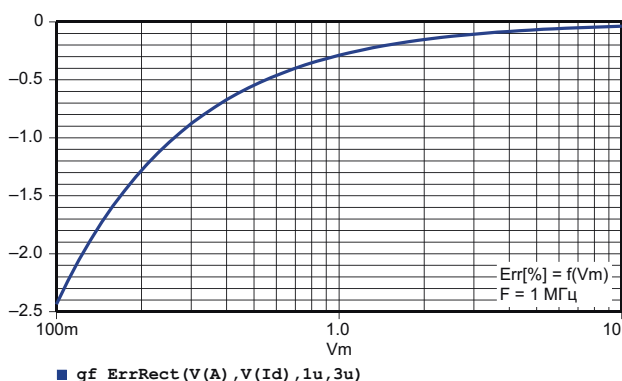


Рисунок 21. Зависимость ошибки преобразования ПСвЗН от амплитуды входного сигнала.

ми входными токами ОУ LM7171. Заметим, что в НСх могут использоваться недокорректированные ОУ, которые изготовитель рекомендует использовать в прикладных схемах с коэффициентом усиления шума $G_N = 2$ (LM7171 является именно таким ОУ).

Сумматор напряжений также реализован на композитном усилителе, в состав которого входит Zero-Drift ОУ ADA4638-1 и популярный ОУ с полевыми транзисторами на входе типа OPA1652.

График зависимости ошибки преобразования ПСвЗН от амплитуды входного сигнала изображен на Рисунке 21.

Таблица 7. Зависимость ошибки преобразования ПСвЗН от сопротивлений резисторов НСх, амплитуды входного сигнала и типов диодов

Сопротивление резисторов R1 = R4 = R5	V _m , В	Погрешность, %, на частоте 1 МГц при использовании диодов	
		BAV99	BAS125
511 Ом	1	-0.53	-0.27
	3	-0.23	-0.099
	10	-0.11	-0.035
1 кОм	1	-0.77	-0.41
	3	-0.32	-0.15
	10	-0.15	-0.053
2 кОм	1	-1.25	-0.70
	3	0.51	-0.26
	10	-0.22	-0.095
5.11 кОм	1	-2.71	-1.61
	3	-1.12	-0.64
	10	-0.49	-0.26

Влияние ряда факторов на погрешность преобразования ПСвЗН иллюстрируют данные Таблицы 7.

Хочется надеяться, что материалы статьи помогут разработчикам осознанно и обоснованно выбирать компоненты и проектировать прецизионные выпрямители, в наибольшей степени отвечающие требованиям задачи, которую они решают в конкретной прикладной схеме. **РЛ**

Литература:

1. Измерения в электронике: Справочник/В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.: Под ред. В.А. Кузнецова.—М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 85–90
2. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. — М.: Радио и связь, 1991, с. 98–102
3. Справочник по нелинейным схемам. Под редакцией Д. Шейнголда. Пер. с англ. — М.: Мир, 1977, с. 30, 118, 146, 370, 372
4. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1988, с. 117–120
5. <http://sound.westhost.com/apnotes/an001.htm>
6. http://www.kennethkuhn.com/students/ee431/precision_diode_rectifiers.pdf
7. An Applications Guide for Op Amps. Application Note 20, National Semiconductor, February 1969, с. 10
8. Precision AC/DC Converters. Linear Brief 8, National Semiconductor, August 1969
9. В. Д. Разевиг. Система проектирования OrCAD 9.2, издательство «Солон-Р», Москва, 2001
10. Проектирование и применение операционных усилителей. Под редакцией Дж. Грэма, Дж. Тоби, Л.Хьюлсмана. Пер. с англ. — М.: Мир, 1974, с. 270
11. А. Дж. Пейтон, В. Волш Аналоговая электроника на операционных усилителях — М.: БИНОМ, 1994, с. 315
12. С. Лозицкий. Методы анализа операционных схем в частотной области, Схемотехника, 2004, №7, с. 24 и №11, с. 24
13. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982, с. 206
14. Брюс Картер и Рон Манчини, Операционные усилители для всех /; пер. с англ. А. Н. Рабодзея. — М.: Додэка-XX1, 2011, с. 488
15. LT1122 Fast Settling, JFET Input Operational Amplifier. Data Sheet, Linear Technology Corporation, p. 14
16. LME49860 44V Dual High Performance, High Fidelity Audio Operational Amplifier. Data Sheet, National Semiconductor Corporation, June 2007, p. 27
17. Mikhael, W. B., and Michael, S., "Composite Operation Amplifiers: Generation and Finite-Gain Applications, IEEE Transactions on Crus and Systems, v. CAS-34, No. 5, May 1987
18. Jim Williams. Composite Amplifiers, Application Note 21, Linear Technology, July 1986
19. ADA4638–1, 30 V Zero-Drift, Rail-to-Rail Output Precision Amplifier, Data Sheet Rev.0, Analog Devices

Материалы по теме

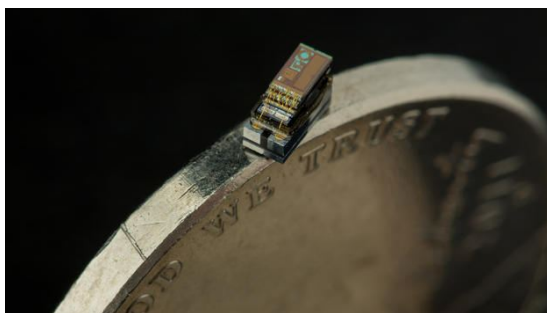
1. [Datasheet Analog Devices ADA4638–1](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM107](#)
3. [Datasheet Texas Instruments LM7171](#)
4. [Datasheet Texas Instruments LME49860](#)
5. [Datasheet Texas Instruments OPA1652](#)

Самый миниатюрный в мире компьютер умещается на гурте пятицентовой монеты

Amy Norcross

EDN

В поисках технологий, позволяющих сделать вычислительные устройства более миниатюрными и эффективными, исследователи из Мичиганского университета более десяти лет занимаются разработкой того, что, по их убеждению, является самым маленьким компьютером в мире, объем которого измеряется кубическими миллиметрами. По оценкам Музея компьютерной истории в Маунтин-Вью, штат Калифорния, разместившего сейчас у себя экспозицию, посвященную компьютеру Micro Mote, внутри одного наперстка могут уместиться 150 таких устройств.



Преподаватели Мичиганского университета Дэвид Блэов (David Blaauw), Деннис Сильвестр (Dennis Sylvester), Дэвид Венцлофф (David Wentzloff) и Прэбэл Дата (Prabal Dutta), а также несколько аспирантов разработали измеряемое миллиметрами крошечное вычислительное устройство, способное извлекать энергию солнца для осуществления беспроводных коммуникаций, измерять давление и температуру, и даже обрабатывать изображения и видео.

«Чтобы быть "законченным" компьютером, система должна иметь вход данных, способность обрабатывать данные и сохранять их, принимать решения о том, что делать дальше и, конечно же, выводить данные, – сказал преподаватель электротехники и информатики Мичиганского университета Дэвид Блэов. – Входами служат датчики, а выходом – радиосигнал. Еще одно важное свойство, делающее устройство законченным компьютером – способность обеспечивать себя питанием».

Основным препятствием на пути создания столь миниатюрных устройств является не сокращение размеров функциональных элементов, а источник их питания. Профессор Прэбэл Дата, также преподающий в Мичиганском университете, написал в блоге Sharp Europe: «Если вы посмотрите на ноутбук или мобильный телефон, доминирующий объем в них занимает аккумулятор, поэтому нам пришлось потратить массу усилий на то, чтобы выяснить, каким образом можно снизить мощность, необходимую каждому из элементов. Ведь вы не можете подключить к ним зарядное устройство, поскольку они слишком малы».

Michigan Micro Mote (M3) питается от солнечных элементов, даже в помещениях, где отсутствует солнечный свет, что теоретически позволяет компьютеру работать вечно.

Все элементы компьютера, каждый из которых является продуктом технологии, названной «Умная пыль», собраны в несколько слоев и могут адаптироваться к

выполнению конкретной функции. Поскольку местом для подключения клавиатуры, мыши или дисплея МЗ не располагал, исследователи разработали другой способ коммуникаций. Оператор может посылать информацию в компьютер с помощью света, модулированного высокочастотным сигналом. Обработанные данные Micro Mote отправляет в центральный компьютер с помощью обычных радиосигналов.

Уже готовый к массовому производству, МЗ, как ожидается, найдет применение в области медицины для мониторинга процессов, происходящих в организме человека, выполнения ЭКГ, а также для обнаружения опухолей и контроля их роста. Возвращаясь к сценам из фильма 1966 года Фантастическое путешествие (Fantastic Voyage), или Внутреннее пространство (Innerspace), вышедшего в 1987 году, представляешь себе, что МЗ на самом деле можно будет внедрять в человеческое тело для выполнения некоторых из этих функций.

Возможными областями, где будет востребована технология, станут системы экологического мониторинга и энергоснабжения. В частности, МЗ могут использоваться в интеллектуальных электросетях, для картографирования изменений полярных льдов, для



измерения влажности почвы, и даже для контроля качества воздуха и воды. CBS News имеет свой взгляд на будущее МЗ: «Люди будут покупать несколько МЗ и прикреплять их к своим ключам, бумажникам и любым другим предметам, которые они боятся потерять. А, используя центральную систему, люди имели бы возможность определять местонахождение вещей в пределах своего дома».

«Заглядывая вперед, скажем, что ничто не мешает сделать компьютер с размером стороны в сто микрон, – сказал профессор Мичиганского университета Деннис Сильвестр. – А затем вы сможете увидеть чипы внутри клетки. Вы же знаете, как легко фантастика превращается в реальность». **РЛ**

Эволюция преобразователей данных компании Analog Devices и звуковые ЦАП



Часть 1

Юрий Петропавловский

Компания Analog Devices (ADI) является одним из ведущих мировых лидеров в области разработки и производства микросхем для обработки аналоговых и цифровых сигналов, более 2200 ее схемотехнических и технологических решений защищены патентами. Масштаб компании таков, что достаточно полный обзор ее преобразователей в журнале затруднителен – в каталоге 2015 года фигурируют сотни микросхем ЦАП, АЦП, кодеков и специализированных микросхем с интегрированными преобразователями данных. В

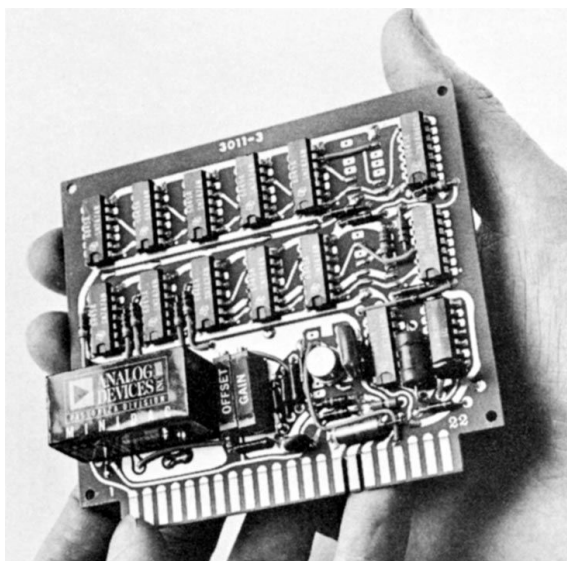


Рисунок 1. АЦПА DC-12U.

предлагаемой статье основное внимание уделено цифро-аналоговым преобразователям компании, предназначенным для применения в цифровой звуковоспроизводящей аппаратуре – проигрывателях оптических дисков, внешних ЦАП, усилителях ЗЧ и ресиверах, медиаплеерах и других аудио устройствах, представляющих интерес для читателей журнала.

К производству преобразователей данных Analog Devices приступила в 1969 году после приобретения компании Pastoriza Electronics, основанной Джеймсом Пасториза и уже имевшей достижения в производстве устройств сбора данных. На Рисунке 1 показан один из первых (1969 г.) преобразователей ADI – 12-разрядный АЦП последовательного приближения ADC-12U, продававшийся по цене 800 долларов. В состав прибора входили 14 корпусов логики серии 7400, компаратор $\mu A710$ и модульный 12-разрядный ЦАП «Minidac», построенный на основе четырехпозиционных ключей («Quad Switch») и тонкопленочной резистивной матрицы (AD850). Структура «Minidac» приведена на Рисунке 2, а схема ключа «Quad Switch», запатентованного Джеймсом Пасториза – на Рисунке 3. Функционирование четырехпозиционного ключа заключается в подключении к выходной цепи комбинаций из четырех токов со значениями, кратными 2^n , где $n = 0$,

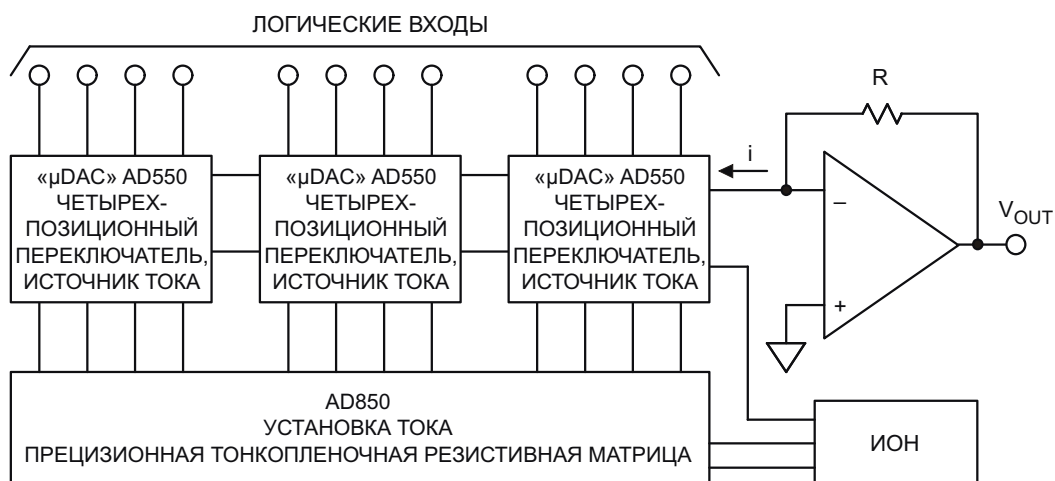


Рисунок 2. ЦАП «Minidac».

1, 2, 3. В 1969 году в производстве компании находились 10-разрядный АЦП ADC-F, 12-разрядный ADC-U и рассмотренный ЦАП «Minidac» с токовым выходом.

1970-е годы

Эти годы стали одними из наиболее значимых десятилетий в истории преобразователей данных, в котором движущей силой являлись такие сферы их применения, как системы управления производством, военные фазированные РЛС, медицинское оборудование, индикаторы с векторной и растровой разверткой, цифровые измерительные приборы высокого разрешения и другие. Произ-

водством преобразователей в эти годы, кроме ADI, занимались многие американские компании (Burr-Brown, National Semiconductor, Advanced Micro Devices, Fairchild, Signetics, Intersil, Motorola, Precision Monolithics). Выпускались как монолитные (интегральные), так и модульные, а также гибридные преобразователи. Первые были относительно дешевыми, вторые и третьи отличались большой разрешающей способностью и скоростью преобразования.

Сложность использования преобразователей на практике вызвала необходимость квалифицированной технической поддержки пользователей. Большое значение в этом отношении имели материалы, опубликован-

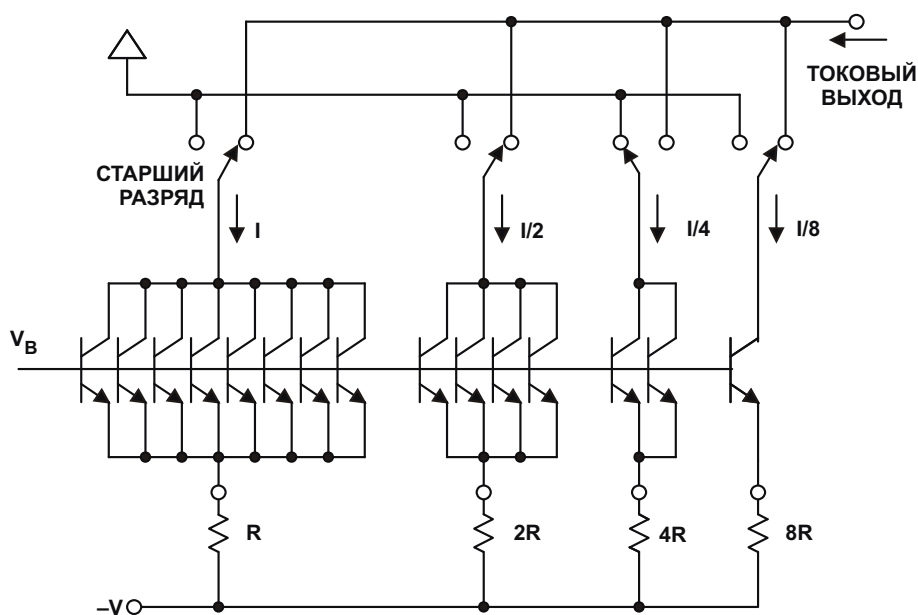


Рисунок 3. Четырехпозиционный ключ.



Рисунок 4. Дэн Шайнголд.

ные в журнале «Analog Dialogue», первый номер которого вышел в 1967 году. Важной вехой в становлении журнала стал приход на пост главного редактора Дэна Шайнголда (Dan Sheingold, фото на Рисунке 4), на котором он проработал 44 года (до 2013 г.). Под редакцией Дэна Шайнголда в 1972 году вышло первое издание руководства по аналого-цифровому преобразованию «Analog-Digital Conversion Handbook», позже (в 1977 и 1986 годах) вышли исправленные и дополненные издания. Все книги детально описывают архитектуру, технические характеристики, конструкции и особенности применения преобразователей данных.

Первые монолитные ЦАП ADI базировались на биполярной технологии и состояли из ядра ЦАП и множества дополнительных компонентов (ключей, резисторов, источников опорного напряжения). В 1974 году компания выпустила 12-разрядный ЦАП AD562, разработанный Бобом Крейвеном (Bob Craven), представляющий собой монолитный элемент из двух чипов микросхем в одном корпусе, однако технология его производства была достаточно сложной. Коммерчески успешным стал 12-разрядный ЦАП AD563, разработанный Полом Броком (Adrian P. Brokaw) с дополнительным чипом источника опорного напряжения. Основным недостатком этого преобразователя было сравнительно невысокое быстродействие (порядка 1 мкс). Однако успехи в технологии формирования на чипах микросхем диодов Зенера (стабилитронов) позволили увеличить быстродействие ЦАП в микросхемах AD565, время установления которых уже составляло порядка 200 нс. Микросхемы AD565, AD565A, AD566A имели одинаковую схему включения и присутство-

вали в каталогах компании на протяжении более 30 лет.

Первый 10-разрядный ЦАП AD7520, выполненный на основе КМОП технологии с быстродействием 500 нс и архитектурой R-2R, был выпущен в 1974 году. 12-разрядный ЦАП AD7541 (1978 г.), стал первым КМОП умножающим преобразователем и положил начало целой серии умножающих КМОП ЦАП общего назначения.

В начале десятилетия компания выпускала модульные АЦП (ADC-12QZ, ADC-1130) и гибридные на основе блочных ЦАП с внешними компонентами. Первым монолитным аналого-цифровым преобразователем компании (1975 г.), был 10-разрядный КМОП АЦП последовательного приближения (SAR ADC) AD7570, однако для его работы были необходимы внешние компаратор и источник опорного напряжения (ИОН). Первый полностью монолитный АЦП последовательного приближения AD571 на основе биполярного процесса с инжекционной логикой (I^2L) и использованием тонкопленочных резисторов был изобретен Полом Броком и представлен компанией в 1978 году.

1980-е годы

В этом десятилетии многие полупроводниковые компании, в том числе и ADI, начали выпуск цифро-аналоговых преобразователей для звуковых приложений. Огромный спрос на них возник после начала выпуска CD проигрывателей в начале 1980-х годов, стандарт записи на которые был разработан компаниями Philips и Sony. Как известно, первыми в мире CD-проигрывателями были CDP-101 фирмы Sony и CD100 фирмы Philips. В качестве ЦАП в них использовались микросхемы CX20017 разработки Sony и TDA1540 + SAA7300 разработки Philips [1]. Эти микросхемы и явились первыми массовыми источниками того самого «цифрового звука», положившего начало многолетним дискуссиям среди любителей высококачественного звуковоспроизведения. До появления CD дисков миллионы слушателей и любителей музыки имели дело преимущественно с аналоговыми источниками и носителями звука. В связи с этим обстоятельством имеет смысл коротко рассмотреть особенности первого массового интегрального звукового ЦАП CX20017, кроме самой Sony применявшегося в аппаратах многих других фирм (Akai, Dual, Fisher, Pioneer, Sanyo, Telefunken и др.).

В начале 1980-х годов специализированные интегральные микросхемы для собственной продукции выпускали многие крупные производители электроники. Компания Sony, хотя и имела собственное полупроводниковое производство, широко использовала микросхемы сторонних производителей. Для обеспечения компонентами своих первых CD проигрывателей Sony предприняла попытку заказа большой партии ЦАП у Analog Devices, как у лидера в производстве преобразователей данных. Однако контракт не был подписан из-за разногласий по цене – в то время ADI продавала свои 16-разрядные преобразователи по \$50, что для применения в массовой продукции Sony было неприемлемо. По словам президента ADI Рэймонда Стата, Sony обратилась к конкурентам и получила желаемое [2]. К сожалению, автор не располагает достоверными данными, о том, кто был этот конкурент, и кто конкретно участвовал в разработке первых ЦАП Sony.

CX20017 представляет собой двухканальный 16-разрядный ЦАП с токовыми выходами, предназначенный для декодирования звуковых цифровых сигналов с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ/PCM). Внешний вид микросхемы на плате проигрывателя Telefunken HS-970 показан на Рисунке 5.

Основные параметры микросхемы и качества звука проигрывателя Sony CDP-101:

- Ток потребления 20 мА по цепи +5 В и 120 мА по цепи –5 В.
- Совместимость с МОП и ТТЛ уровнями по входам.
- КНИ менее 0.004 %, динамический диапазон, отношение сигнал/шум и разделение каналов более 90 дБ.

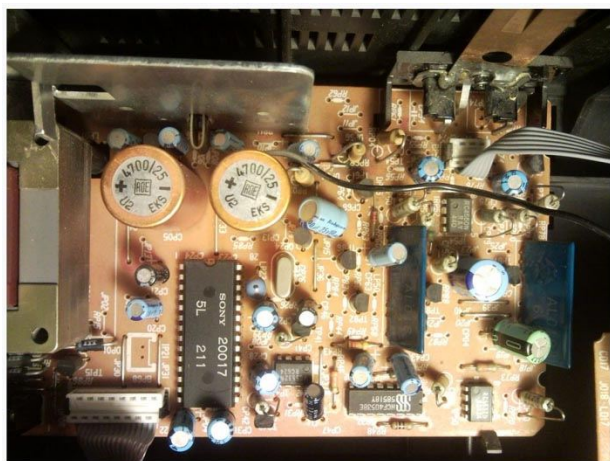


Рисунок 5. Плата проигрывателя Telefunken HD-970.

- Диапазон воспроизводимых частот 5 Гц ... 20 кГц (± 0.5 дБ).

Первый звуковой 16-разрядный ЦАП AD1856 для CD-проигрывателей ADI выпустила в 1988 году. Микросхема являлась полным функциональным аналогом микросхемы PCM56, выпущенной годом ранее компанией Burr-Brown. Особенности и параметры этого ЦАП приведены в статье автора [3]. Структура микросхем приведена на Рисунке 6; их параметры в основном одинаковы, отличия касаются единиц измерения гармонических искажений, приведенных в спецификациях – для AD1856 они приведены в процентах, для PCM56 – в децибелах. Например, THD = –92 дБ при полном размахе (Full Scale) и входном уровне сигнала 0 дБ для PCM56-K соответствует THD = 0.002 % для AD1856RZ-K. Следует отметить, что микросхемы PCM56 получили значительно большее распространение в звуковой аппаратуре большинства значимых производителей, возможно потому, что этот ЦАП был оригиналом, а AD1856 – аналогом [4].

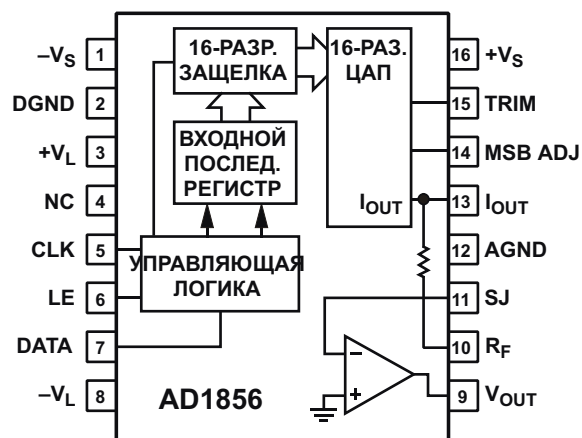


Рисунок 6. ЦАП AD1856.

Возможны различные варианты включения микросхем в стереотракты: одна микросхема на два канала, по одной микросхеме на каждый канал и по две микросхемы на каждый канал. В последнем случае один из ЦАП в каждом канале обрабатывает положительную область сигналов, другой – отрицательную. Результатом такого решения является снижение искажений при малых уровнях сигнала за счет уменьшения дифференциальной ошибки линейности в области перехода сигнала через ноль. Нужно отметить, что AD1856 до сих пор присутствует в каталогах Analog Devices и стоит около \$10.

В 80-годы движущей силой рынка преобразователей были такие направления, как сбор данных, медицинское оборудование, компьютерная графика, профессиональная и бытовая аудио и видеотехника. При производстве преобразователей компания внедрила новые аналого-совместимые технологии (LC²MOS, BiCMOS II) и биполярную комплементарную технологию первого поколения на основе быстродействующих N-P-N и P-N-P транзисторов, что позволило получить высокопроизводительные стробируемые АЦП. Микросхема AD9700, разработанная в 1984 году, была первым монолитных ЦАП,

предназначенным для видеоприложений с графической растровой разверткой. **РЛ**

Литература

1. Юрий Петропавловский, «Особенности выбора и применения микросхем ЦАП для звуковых приложений», РадиоЛоцман, 2011, стр. 18
2. <http://www.ethicsandentrepreneurship.org/20100208/interview-with-ray-stata/>
3. Ю. Петропавловский, «ЦАП РСМ56/61 в высококачественной аудиоаппаратуре», Радио, 2011, №10, 11
4. http://www.dutchaudioclassics.nl/the_complete_d_a_dac_converter_list/

Продолжение в следующем номере

настоящее немецкое качество

Testboy
GmbH, Germany

контрольно-
измерительное
оборудование

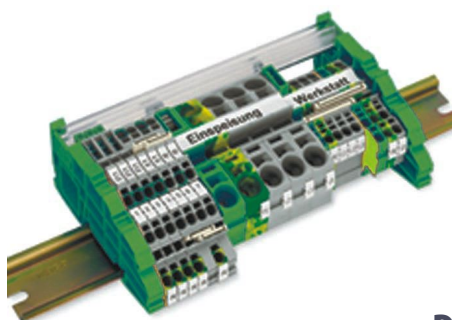


JOKARI
original

инструмент для
разделки кабеля
и снятия изоляции



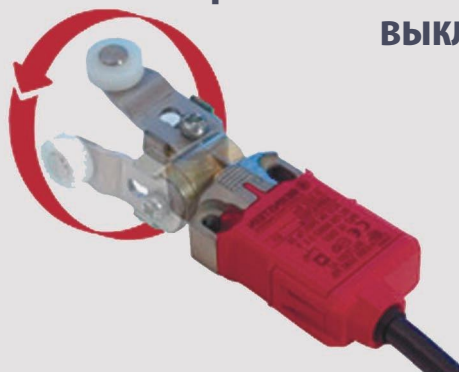
WAGO
INNOVATIVE CONNECTIONS



клеммы
на DIN рейку
и для печатных плат

BERNSTEIN
safe solutions

промышленные корпуса
выключатели
датчики



ДЕЦИМА

ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ

МОСКВА, ЗЕЛЕНОГРАД, +7(495) 988-4858

WWW.DECIMA.RU



Некоторые практические вопросы проектирования низкочастотных фильтров



Часть 1

Владимир Рентюк, Запорожье, Украина

В статье рассматривается ряд вопросов практического проектирования низкочастотных фильтров с учетом особенностей их построения, технологичности изготовления и области применения

Без сомнения фильтры – это наиболее популярные и востребованные узлы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которые находят применение в самых разнообразных устройствах. Более того, с уверенностью можно сказать, что устройств без фильтров попросту не бывает. Действительно, в любой РЭА есть хотя бы фильтры по питанию, а реальный усилитель должен восприниматься как фильтр, так как полоса его рабочих частот ограничена как минимум сверху, о чем мы часто забываем. Это же касается и линий передачи сигнала. Вот почему фильтры являются одной из важнейших составных частей, и к их проектированию необходимо подходить с должным пониманием и вниманием.

По фильтрам написано много ценных и хороших книг, еще больше статей, но все они, как правило, рассматривают вопросы теории, и очень редко – практики. Объем статьи не позволит раскрыть всю глубину этой темы и все ее разнообразие, ее задача – дать реперные точки, которые позволят легче ориентироваться в этой области и не делать распространенных ошибок. Она написана на основании многолетней практики автора в области профессионального проектирования РЭА. Итак, без особой нужды мы не будем углубляться в дебри непростой теории

фильтров, которая детально излагается в разделе радиотехники, называемой радиотехнические цепи и сигналы, а сделаем упор на практические прикладные аспекты, важные для проектировщиков.

Для начала определим основные области применения фильтров, в контексте данной статьи – низкочастотных. Во-первых, это фильтры по питанию. Их назначение – уменьшить влияние шумов и помех от источников питания; особенно это касается очень распространенных в настоящее время импульсных преобразователей. Во-вторых, это усилители. Как бы мы их не проектировали, тут, как в известной поговорке: «Какую партию у нас не строят – в итоге получается КПСС». Так и усилитель, какой бы мы не проектировали – в итоге получается фильтр. В-третьих, это автоматика. Здесь фильтры входят в контуры отрицательной обратной связи (ООС) и являются неотъемлемой составной частью систем регулирования. Именно правильно выбранные характеристики фильтров в цепи ООС устройств автоматического слежения и определяют их качественные характеристики, в частности, устойчивость. Если кто-то из читателей подумает, что он таким не занимается и ему это неинтересно, мол, это высокие материи, то он ошибается. Такие

регуляторы вы встречали в цепях ООС усилителя ошибки AC/DC импульсных блоков питания, и реже в DC/DC преобразователях (loop- и slope-компенсация), в устройствах управления двигателями и т.п. Ну, и самое основное назначение фильтров – обработка сигналов.

В соответствие со своей характеристикой – полосой пропускания – фильтры делятся на:

1. Фильтры нижних частот (ФНЧ), пропускающие сигналы, частота которых лежит ниже их частоты среза;
2. Фильтр верхних частот (ФВЧ), пропускающие сигналы, частота которых лежит выше их частоты среза;
3. Полосовые фильтры или полосно-пропускающие фильтры (ППФ), пропускающие сигналы, частота которых находится между их частотами среза;
4. Заграждающие фильтры (ЗФ) или полосно-заграждающие фильтры (ПЗФ), не пропускающие сигналы, частота которых лежит между их частотами среза.

Разновидность полосового фильтра – это селективный фильтр, то есть фильтр с очень узкой полосой пропускания, а разновидность полосно-заграждающего фильтра – это подавляющий фильтр. В данном случае это фильтр с очень узкой полосой пропускания. Он предназначен для того, чтобы вырезать некоторую часть спектра сигнала. В низкочастотной технике это обычно фильтры, подавляющие сетевые помехи 50 или 100 Гц, или фильтры, используемые для подавления частоты нежелательного резонанса. И полосовой и заграждающий фильтры могут рассматриваться как комбинации ФНЧ и ФВЧ.

Итак, что же является основным для такого понятия, как фильтр? Более подробно и доступно это изложено, например, в книге [1], которую автор считает настольной книгой каждого, кто занимается практическими вопросами разработки РЭА. Она доступна для скачивания в Интернете. Первое, что мы вспоминаем, и что нас чаще всего интересует – это упомянутая выше передаточная или амплитудно-частотная характеристика фильтра, то есть зависимость коэффициента передачи фильтра от частоты входного сигнала.

Еще одним важным параметром фильтров является его фазо-частотная характеристика (ФЧХ), то есть, зависимость сдвига фазы выходного сигнала от частоты. Учитывать эту

характеристику особо важно, и даже, необходимо для фильтров, работающих в цепях обратной связи. Поясним почему. Если фильтр, установленный в цепи отрицательной обратной связи, сдвинет на какой-либо частоте фазу выходного сигнала на 180° , то при соблюдении условия баланса амплитуд (более понятными словами, если хватит усиления для компенсации потерь в петле отрицательной обратной связи) такой каскад превратится в генератор. Это с успехом используется на практике. Кроме этого важен такой параметр, как групповое время задержки. Фактически любой ФНЧ является своеобразной линией задержки, то есть, выходной сигнал в полосе пропускания будет сдвинут на некоторое время относительно входного сигнала. Эта задержка в цепи ООС приводит к искажениям в передаче импульсных сигналов. Вы не работаете с импульсными сигналами? А что, по вашему представляет собой музыкальный сигнал? Относительно чистый гармонический (синусоидальный) сигнал дают только одиночные трубы органа и флейты, например, пикколо и Пана. А все остальное, например, рояль, гитара – это сложные импульсные сигналы с весьма крутыми фрон-

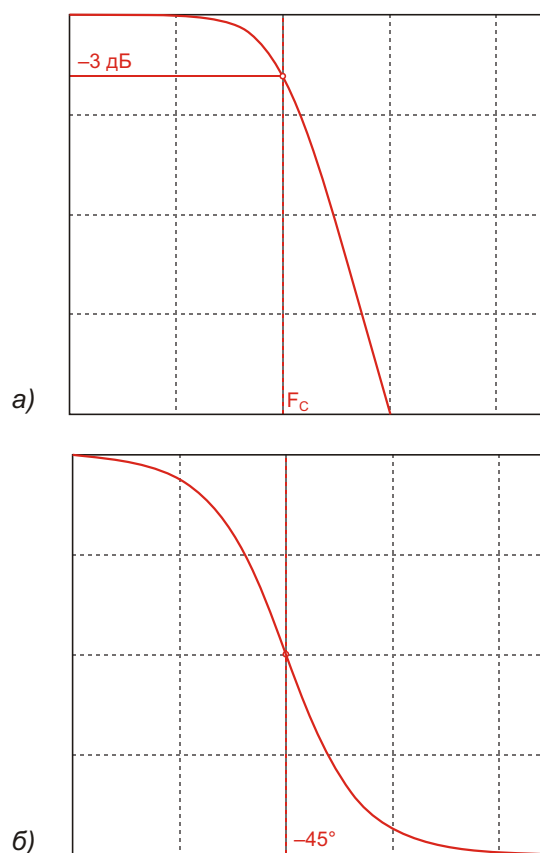


Рисунок 1. АЧХ (а) и ФЧХ (б) фильтра нижних частот.

тами [2]. Наша речь – тоже сложные сигналы, со своими резонансами (формантами), ведь мы же не общаемся свистом в повседневной жизни.

Все основные характеристики фильтров в настоящее время определяются в результате компьютерного расчета и моделирования, как-никак, за окном 21-й век. Это позволяет избежать ошибок и синтезировать именно тот фильтр, который необходим, причем синтезировать его оптимально.

Обычно в технической литературе приводят передаточные характеристики фильтров в идеализированном и не всегда соответствующем практике виде, например, как это показано на Рисунке 1.

За частоту среза F_C принята не просто некоторая удобная частота, а частота гармонического сигнала, на которой мощность на выходе фильтра падает вдвое, что соответствует $1/\sqrt{2}$ по напряжению, или в более привычном представлении, -3 дБ, опять-таки, по напряжению. Иногда, исключительно для специальных целей, ее задают по уровню -1 дБ, но редко и с оговоркой. Также нас интересует затухание в области подавления. Его оценивают в децибелах на октаву (дБ/октава), выражающих ослабление сигнала при изменении частоты вдвое. Кроме того, встречается и представление в децибелах на декаду (дБ/декада). В последнем случае сравниваются выходные напряжения на частотах, различающихся в 10 раз. Первый вариант используется наиболее часто, хотя второй на практике более точен.

Представления АЧХ и ФЧХ, приведенные на Рисунке 1, соответствуют простейшим, наиболее часто встречающимся фильтрам. Такими фильтрами являются фильтры первого порядка, так как их передаточные функции описываются линейными уравнениями, то есть уравнениями первого порядка. Фильтры, если они не используют в своей непосредственной структуре активных элементов (усилительных каскадов), называются пассивными. Их достоинства – это минимальный уровень собственных шумов, широкий динамический диапазон, дешевизна и простота реализации. А самое главное их достоинство в том, что они не вносят ни нелинейных, ни интермодуляционных искажений. Недостаток – малая крутизна спада АЧХ.

Такие фильтры (Рисунок 2) в виде самостоятельных каскадов применяются в аудио-

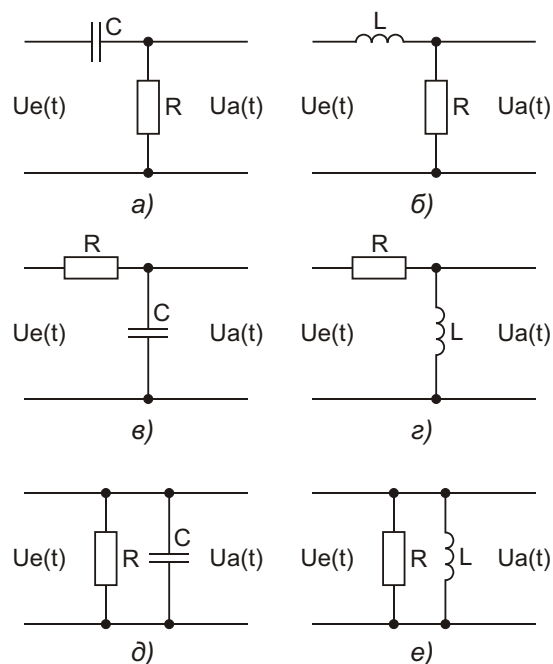


Рисунок 2. Схематехника низкочастотных пассивных фильтров:

- а) RC-фильтр высших частот;
- б) LR-фильтр низших частот;
- в), г) RC-фильтр низших частот;
- д), е) LR-фильтр высших частот.

Примечание:

- а), б), в), г) – фильтры, работающие от источника напряжения;
- д), е) – фильтры, работающие от источника тока.

технике, системах обработки сигналов (примеры в [2]), измерительных приборах, в качестве фильтров в цепях питания и т.п. Кроме того, они используются в качестве нечетного звена фильтров высших порядков (о том, что такое порядок фильтра, мы поговорим позже). Еще одним несомненным достоинством таких фильтров является то, что в отличие от многих типов фильтров высоких порядков, они не имеют выбросов (неравномерности) ни в полосе пропускания, ни в полосе подавления, то есть их АЧХ плоская. Описываемые фильтры могут работать как от источника напряжения, так и от источника тока (а вот об этом часто не задумываются). Устройства этого типа так тесно вошли в практику, стали настолько обыденными, что при проектировании на них мало обращают внимание. Насколько оправдано такое пренебрежительное отношение к пассивным фильтрам? Специалисты, работающие в области низких частот, не любят заглядывать в области выше 100 кГц, а там, как говорится,

могут скрываться интересные нюансы. Как может помочь использование простейшего ФНЧ по входу, наглядно видно, скажем, на примере схемы усилителя для стереотелефонов [3]. Здесь, установленный по входу, пассивный фильтр первого порядка устранил вредный паразитный резонанс на высоких частотах; другим путем убрать его было бы просто нереально.

Наиболее часто мы имеем дело с сигналами, приходящими от источника напряжения, поэтому остановимся на их рассмотрении, что не мешает перенести излагаемое ниже и на устройства, выходы которых представляют собой источники тока. Источники тока в низкочастотной технике не такая уж и экзотика. Например, вам необходимо передать низкочастотный сигнал по кабелю с большой погонной емкостью. Для того чтобы исключить его влияние на АЧХ тракта, в качестве источника сигнала можно использовать источник тока, например, обычный резистор, а вход выполнить не по напряжению, а по току, например, в виде открытого инвертирующего входа операционного усилителя с отрицательной обратной связью, естественно, не забыв про его защиту. Как известно, входное сопротивление такого каскада стремится к нулю, и емкость кабеля уже не окажет практически никакого влияния на прохождение сигнала; влиять будет только индуктивность линии передачи.

Поскольку для низкочастотной схемотехники ввиду своей технологичности наиболее характерны RC-фильтры, для оценки глубины проблемы, рассмотрим пример обычного однозвенного пассивного RC-фильтра низших частот – ФНЧ (Рисунок 2в). Это фильтр первого порядка. Согласно теории, его затухание равно 6 дБ/октава или 20 дБ/декада.

Но дело в том, что спад АЧХ реального фильтра, например, ФНЧ первого порядка, приближается к своим теоретическим 6 дБ/октава даже не во второй и не в третьей октаве от частоты среза, а только лишь с четвертой октавы и то, примерно. Однако для фильтров высоких порядков с ростом порядка это несоответствие нивелируется. А вот затухание 20 дБ/декада для фильтра первого порядка будет обеспечено, но не от частоты среза F_C , а на частоте $10F_C$, и относительно области пропускания. Затухание на частоте $10F_C$ относительно F_C будет всего 17 дБ, то есть, ожидаемого затухания в полосе подавления в минус 23 дБ на частоте $10F_C$ мы не получим.

Чтобы понять некоторые важные с практической точки зрения тонкости, заглянем в теорию. Модуль передаточной функции такого фильтра (а это и есть, собственно, его АЧХ) и ФЧХ фильтра описываются выражениями:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{2^2}}}, \quad (1)$$

$$\text{arctg}(\frac{\omega}{2}),$$

где

- циклическая частота, равная $2\pi f$,
- постоянная времени, равная в нашем случае RC,
- фаза.

Формула (1) удобна тем, что позволяет вычислить напряжение на выходе фильтра на нужной разработчику частоте. Обратите внимание: эта формула дает результат в размах, а не в децибелах. В обычной же практике, фильтр характеризуется частотой среза F_C . Как уже отмечалось выше, она определяется из условия половинной мощности сигнала на выходе фильтра, что соответствует $1/\sqrt{2}$ по напряжению или, в более привычном представлении, минус 3 дБ. Из формулы (1) получаем, что частота среза

$$F_C = \frac{1}{2RC}. \quad (2)$$

Но все это справедливо только для идеального случая. То есть, когда источник сигнала имеет бесконечно низкое сопротивление, а нагрузка – бесконечно большое, о чем некоторые забывают. Если это условие не соблюдается, то по формуле (2) мы не получим не только необходимую частоту среза, но и необходимое затухание в области подавления. Так, если сопротивление нагрузки фильтра во много раз превышает значение R фильтра, а ее собственная емкость несущественна по отношению к C, то значение частоты среза F_C с учетом сопротивления источника сигнала определяется по формуле

$$F_C = \frac{1}{2(R + R_s)C},$$

где

R_s – сопротивление источника сигнала.

Учесть сопротивление нагрузки сложнее, так как оно оказывает влияние как на коэффициент передачи фильтра в полосе пропускания, так и на частоту среза фильтра. Для упрощения разделим эту задачу на две. Коэффициент передачи фильтра в полосе прозрачности определяется как

$$\frac{R_L}{(R_L + R_S + R)}$$

где

R_L – сопротивление нагрузки.

Если сопротивление источника сигнала R_S по сравнению с R невелико, им можно пренебречь. Частота среза по уровню минус 3 дБ (а это и есть условие $|A| = 1/\sqrt{2}$), в отличие частоты среза идеального фильтра, определяется по формуле

$$F_c = \frac{1}{2 R C}, \quad (3)$$

где

$$R = \frac{R_L(R + R_S)}{(R_L + R_S + R)}$$

Окончание в следующем номере

Как видно из приведенных формул, сопротивление нагрузки оказывается подключенным параллельно основному сопротивлению фильтра в сумме с сопротивлением источника сигнала.

Что касается затухания, то даже в идеальном случае, когда сопротивление нагрузки равно бесконечности, для такого фильтра оно будет приближаться к 6 дБ/октава примерно с четвертой октавы, а затухание 20 дБ/декада будет обеспечено не от частоты среза, а на частоте $10F_c$. Это многие знают, но на практике забывают. **РЛ**

Литература

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том 1, 2: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008.
2. Рентюк В. «Синтез музыкальных тембров», цикл статей, Радиоаматор, №10, 11 2011, №1, 3, 4 2012.
3. Рентюк В «Стереотелефоны и усилитель: выбираем и проектируем правильно. Часть 2», РадиоЛоцман, 2014, август, стр. 30.

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>

Интегральный повышающе-понижающий DC/DC преобразователь с КПД до 95%, выходным током 1.5 А и диапазоном входных и выходных напряжений от 2.5 В до 15 В

Richard Cook, Linear Technology

LT Journal of Analog Innovation

Многоэлементные батареи большой емкости становятся все более привычными в носимых устройствах и промышленных приборах, получающих энергию от нескольких источников. Для максимального продления времени работы батарей и поддержки различных источников энергии стабилизаторы напряжения в подобных системах питания должны быть способны регулировать выходное постоянное напряжение, даже если их входное напряжение меньше, больше или равно выходному. Достичь этого можно использованием двух отдельных преобразователей с двумя микросхемами контроллеров. Но более привлекательным решением является использование одного повышающе-понижающего DC/DC преобразователя, который обеспечит такие критически важные для портативных устройств атрибуты, как небольшие размеры, простота и высокий КПД.

Микросхема LTC3111 представляет собой интегральный повышающе-понижающий преобразователь с диапазонами входных и выходных напряжений от 2.5 В до 15 В и током нагрузки до 1.5 А. Она позволяет преобразовывать энергию различных источников, таких как одно- и многоэлементные Li-Ion батареи, свинцово-кислотные аккумуляторы, блоки конденсаторов, порты USB и сетевые адаптеры.

В дополнение к широкому диапазону рабочих напряжений, LTC3111 использует разработанную Linear Technology оригинальную архитектуру управления ШИМ, эффективно устраняющую джиттер и электромагнитные помехи, возникающие на границах между повышающим и понижающим режимами. Это позволяет упростить, а то и вовсе исключить из системы дорогие фильтры и экраны, защищающие чувствительные к шумам преобразователи данных или радиочастотные цепи. Время автономной работы устройств с батарейным питанием, находящихся в режиме ожидания, можно увеличить выбором пульсирующего режима (Burst Mode), в котором значительно снижается собственный ток потребления преобразователя.

Точный входной порог управляющего вывода позволяет аккуратно запрограммировать напряжение включения преобразователя. Встроенные в устройство функции защиты, такие как ограничение выходного тока и отключение при перегреве или коротком замыкании, гарантируют надежную работу в жестких условиях эксплуатации. Для приложений критичных к размерам компонентов установленная по умолчанию частота переключения 800 кГц может быть увеличена до 1.5 МГц.

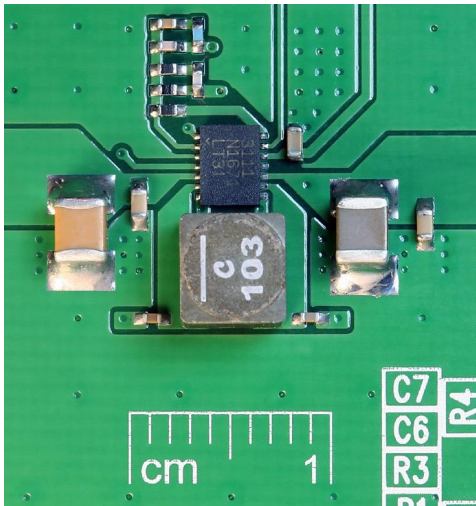


Рисунок 1. Конструкция преобразователя мощностью 18 Вт, основанного на микросхеме LTC3111.

На Рисунке 1 показана конструкция преобразователя на основе LTC3111, отдающего в нагрузку мощность 18 Вт при напряжении 12 В. Схема занимает на печатной плате менее 180 мм². При сопоставимой выходной мощности это решение компактнее, чем повышающе-понижающий преобразователь на основе контроллера, и намного эффективнее, чем содержащая две индуктивности сложная схема с топологией SEPIC. Микросхема LTC3111 выпускается в 16-выводных корпусах со сниженным тепловым сопротивлением: DFN размером 3 мм × 4 мм, или MSOP.

Использование точного порогового напряжения входа RUN в схемах с одно-, двух- и трехэлементными Li-Ion батареями

Вывод RUN микросхемы может использоваться либо для включения/выключения преобразователя цифровым сигналом, либо для точной установки порога блокировки при пониженном напряжении с помощью резистивного делителя, включенного между выводом VIN и землей. Пороговое напряжение входа RUN микросхемы LTC3111, равное 1.2 В (±5% в диапазоне температур), позволяет изменять напряжение включения преобразователя. После того, как преобразователь включен из-за наличия гистерезиса 120 мВ на входе RUN запрет работы преобразователя произойдет тогда, когда входное напряжение упадет до уровня на 10% меньшего, чем напряжение, при котором произошло включение.

На Рисунке 2 изображена практическая схема, в которой точность порога вывода RUN используется для включения/выключения преобразователя LTC3111 при питании от одно-, двух- или трехэлементных Li-Ion батарей. Для случая одноэлементной батареи сопротивление R на выводе RUN равно 267 кОм, и LTC3111 включается, когда напряжение на входе превысит 3.3 В, а выключается – когда опустится ниже 3 В.

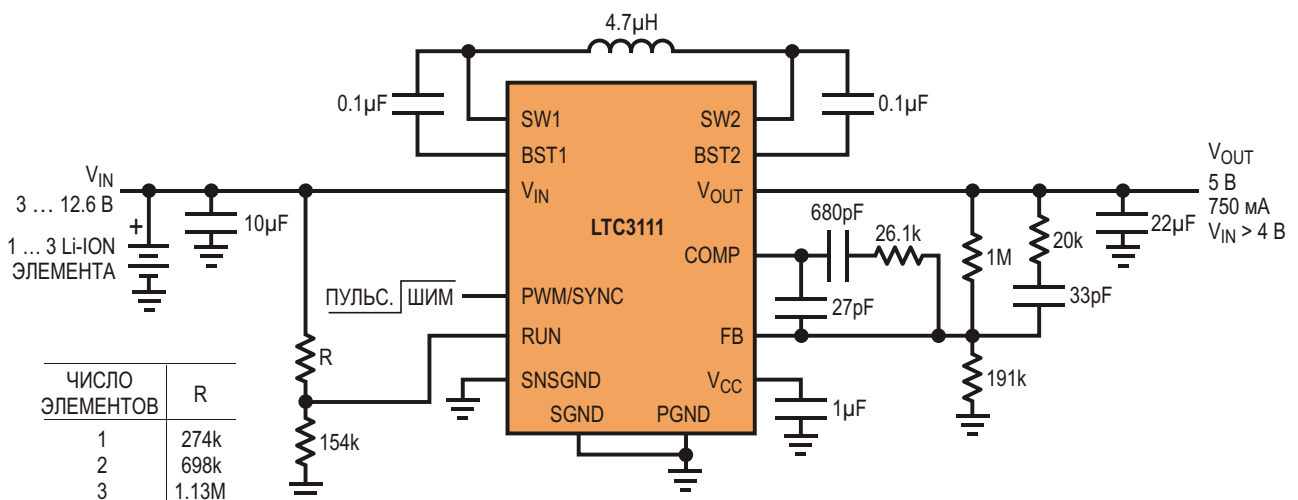


Рисунок 2. В этой схеме, которая может питаться от одно-, двух- и трехэлементных Li-Ion батарей, используется высокая точность порогового напряжения вывода RUN преобразователя LTC3111.

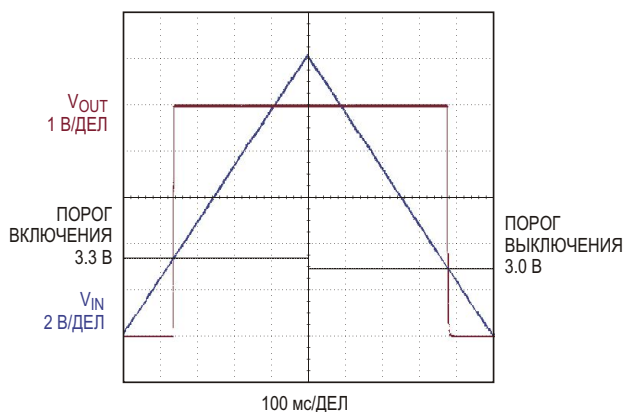


Рисунок 3. Отклик преобразователя на линейное изменение входного напряжения при использовании свойства вывода RUN для случая одноэлементной батареи.

Этот метод может быть применен к схемам с двух- и трехэлементными батареями, для чего сопротивление резистора R нужно изменить в соответствии с таблицей на Рисунке 2. На Рисунке 3 показан отклик преобразователя на медленное линейное изменение напряжения V_{IN} для случая одноэлементной батареи. В одноэлементной конфигурации напряжение на выходе V_{OUT} появляется тогда, когда входное напряжение достигает 3.3 В, и выключается при 3 В. Аналогичным образом этот график может быть масштабирован для случая двух- и трехэлементных батарей, для которых пороги включения/выключения будут равны 6.6 В/6 В и 9.9 В/9 В, соответственно. Хорошая точность порогового напряжения входа RUN может также использоваться в тех случаях, когда минимальное входное напряжение источника должно быть ограничено допустимым уровнем разряда

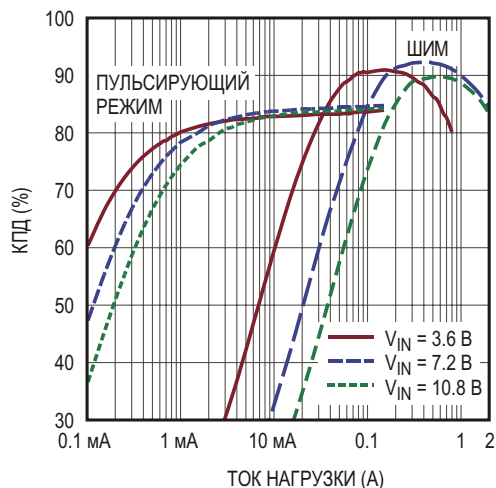


Рисунок 4. Зависимость КПД от выходного тока для вариантов с одно-, двух- и трехэлементными Li-Ion батареями.

таких устройств, как батареи конденсаторов, свинцово-кислотные или NiCd аккумуляторы.

Кривые на Рисунке 4 показывают зависимость КПД от выходного тока для вариантов с одно-, двух- и трехэлементными батареями, работающими при их типовых напряжениях. Максимальный КПД, превышающий 90%, достигается при подключении батареи, состоящей из трех элементов. Заметим, что максимальный ток нагрузки при выходном напряжении 5 В уменьшается, когда входное напряжение становится ниже 6 В. В технической документации на LTC3111 приведены графики, показывающие зависимость максимального выходного тока от входного напряжения в режиме ШИМ и пульсирующем режиме для различных выходных напряжений, с помощью которых можно определить, поддерживается ли заданная нагрузка в определенном диапазоне входных напряжений.

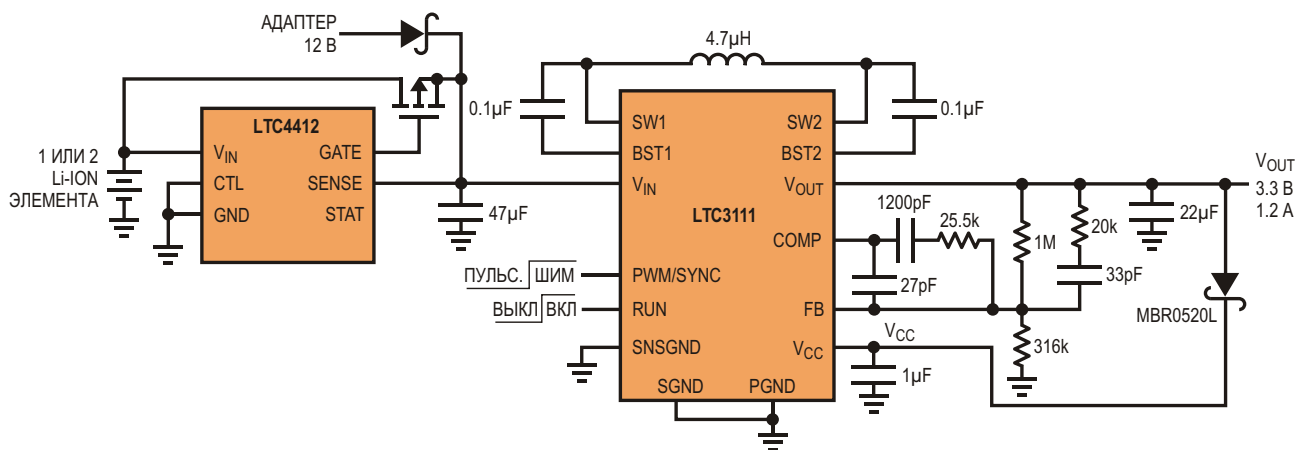


Рисунок 5. Микросхема LTC4412 контролера PowerPath выбирает наибольшее напряжение для питания преобразователя LTC3111.

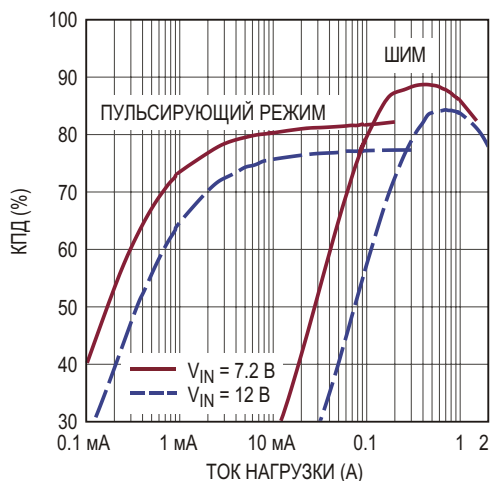


Рисунок 6. Зависимость КПД LTC3111 от тока нагрузки при $V_{OUT} = 3.3 В$, $V_{IN} = 7.2 В$ и $12 В$.

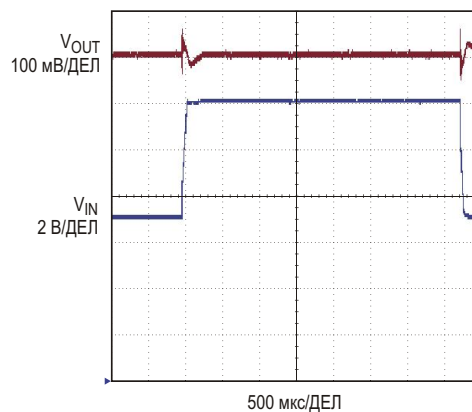


Рисунок 7. Выбросы выходного напряжения, при $V_{OUT} = 3.3 В$ и скачкообразном изменении входного напряжения от $7.2 В$ до $12 В$ и обратно.

Питание преобразователя от нескольких источников

Широкий диапазон рабочих напряжений LTC3111 делает простой организацию питания устройств от нескольких входных источников. На Рисунке 5 показано типичное приложение, в котором микросхема LTC4412 контролера PowerPath (в корпусе SOT-23) выбирает один из двух входных источников с наибольшим напряжением. Равное всего 20 мВ прямое падение напряжения на R-канальном MOSFET микросхемы LTC4412 сводит к минимуму потери мощности. В этой схеме LTC4412 подключает к преобразователю LTC3111 источник с большим напряжением: Li-Ion батарею с напряжением 7.2 В или 12-вольтный сетевой адаптер.

На Рисунке 6 показан график зависимости КПД от тока нагрузки для выходного напряжения 3.3 В при питании преобразователя от двух источников. Достигнутый здесь КПД превышает 89%. При включенном пульсирующем режиме типовой ток потребления в состоянии ожидания равен 49 мкА, что позволяет более чем на две декады расширить диапазон токов нагрузки, в котором сохраняется высокий КПД.

В LTC3111 имеется схема, минимизирующая изменения коэффициента передачи цепи обратной связи, что существенно улучшает отклик схемы на скачки нагрузки. Из осциллограммы, приведенной Рисунке 7, можно увидеть, что в повышающем режиме при токе нагрузки 1 А, емкости выходного конденсатора 22 мкФ и длительности фронтов 20 мкс, выбросы V_{OUT} не превышают 50 мВ, или 1.5%.

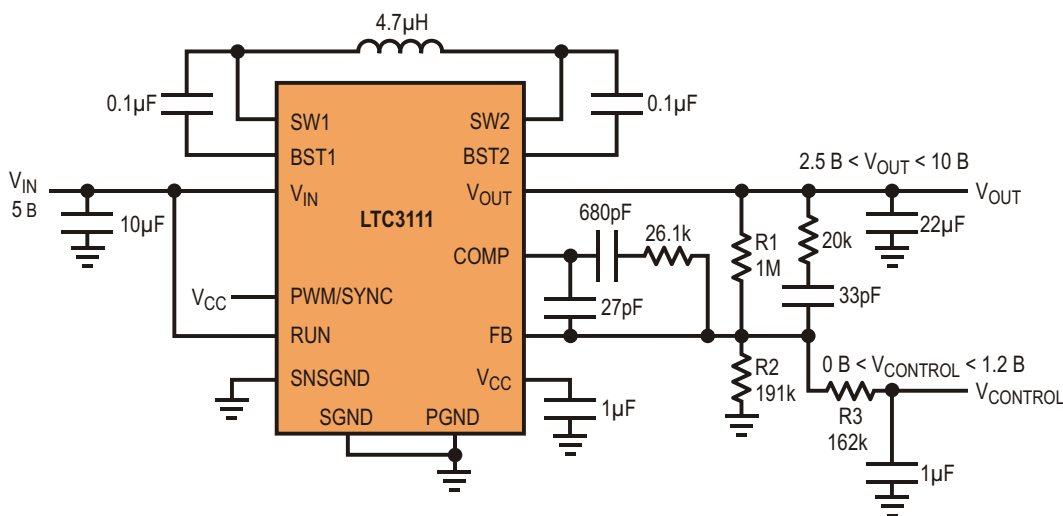


Рисунок 8. Использование LTC3111 в качестве регулируемого источника напряжения.

Использование LTC3111 для получения регулируемого выходного напряжения

Для таких приложений, как управление двигателями, освещение или параметрический контроль источников питания микросхема LTC3111 может быть сконфигурирована как регулируемый источник напряжения. Это может быть сделано многими способами. Один из них показан на Рисунке 8: добавление суммирующего резистора (R3) между выводом обратной связи FB и управляющим напряжением $V_{CONTROL}$.

Программируемое выходное напряжение может быть рассчитано по формуле:

$$V_{OUT} = 0.8V \cdot \left(1 + \frac{R1}{R2} + \frac{R1}{R3}\right) \cdot V_{CONTROL}$$

где

R1 – сопротивление резистора, включенного между выводами V_{OUT} и FB,

R2 – сопротивление резистора, соединяющего FB с землей,

R3 – сопротивление резистора, соединяющего вывод FB и вход $V_{CONTROL}$.

На Рисунке 9 показана реакция выхода на управляющее напряжение, линейно изменяющееся от 0 В до 1.2 В с частотой 100 Гц. Соответствующее выходное напряжение изменяется от 10 В до 2.5 В, что соответствует инвертирующему коэффициенту передачи от $V_{CONTROL}$ к V_{OUT} , равному 6.2. Малошумящее ШИМ-управление обеспечивает низкие искажения и высокое качество репликации входного сигнала.

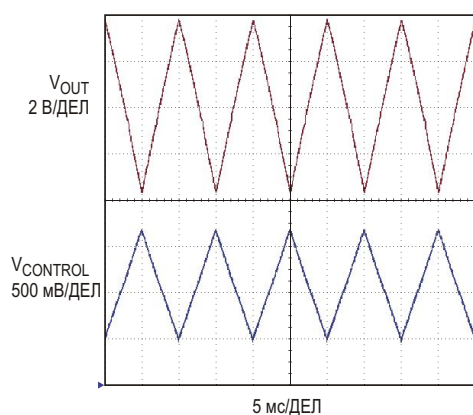


Рисунок 9. Отклик выхода LTC3111 на внешнее управляющее напряжение.

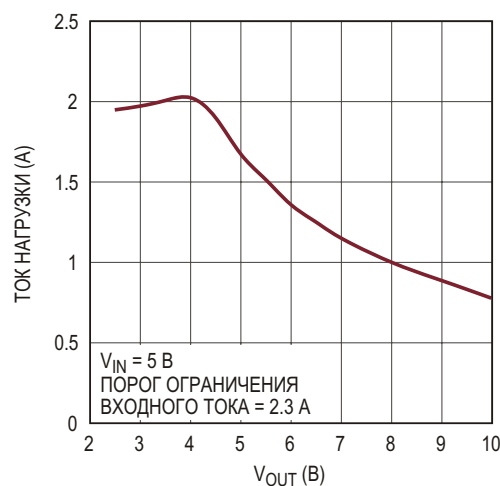


Рисунок 10. Зависимость максимального выходного тока в режиме ШИМ от выходного напряжения при $V_{IN} = 5$ В.

При использовании LTC3111 в качестве стабилизатора с регулируемым выходным напряжением допустимая нагрузка по току уменьшается, когда $V_{OUT} > V_{IN}$ (то есть, когда микросхема работает в режиме повышения). На Рисунке 10 показано, что максимально допустимый выходной ток существенно зависит от коэффициента повышения преобразователя.

Например, допустимый выходной ток при $V_{OUT} = 2V_{IN}$ будет примерно вдвое меньше, чем при $V_{OUT} = V_{IN}$. В приведенном выше примере выход нагружался фиксированным током 500 мА, который микросхема способна отдавать при всех выходных напряжениях. Чтобы гарантированно обеспечить устойчивость преобразователя, параметры цепи частотной компенсации петли ОС определяются при самом большом коэффициенте повышения ($V_{IN} = 5$ В, $V_{OUT} = 10$ В).

Заключение

LTC3111 обеспечивает повышающе-понижающее преобразование с низким уровнем шумов для разнообразных приложений, требующих расширенного диапазона входных или выходных напряжений. Способность микросхемы эффективно поддерживать большие токи нагрузки делает ее идеальным решением для устройств с повышенным энергопотреблением. Габариты такого решения и КПД преобразования еще больше выигрывают от наличия внутренних MOSFET ключей с сопротивлением 90 мОм и корпусов со сниженным тепловым сопротивлением. Низкий ток, потребляемый в пульсирующем режиме,

расширяет область высокого КПД до нескольких декад токов нагрузки, позволяя увеличить время автономной работы многих устройств с батарейным питанием. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Linear Technology LTC3111](#)
2. [Datasheet Linear Technology LTC4412](#)

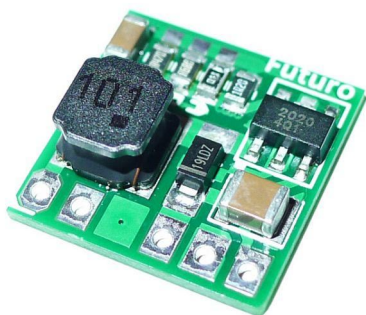
Дешевый модуль драйвера светодиодов 0.5 А/33 В с КПД более 90%

Valentin Kulikov, Futuro Lighting

EDN

Введение

В статье описывается работающий в режиме стабилизации тока простой модуль драй-



вера с быстрой ШИМ, который может применяться для управления светодиодами средней и большой мощности. В модуле исполь-

зован интегральный понижающий DC/DC преобразователь, стабилизированный выходной ток которого может настраиваться в диапазоне от 0.1 до 0.5 А. В статье приведено описание принципиальной схемы и даны указания по проектированию и использованию, позволяющие самостоятельно собрать несложный дешевый драйвер светодиодов.

Краткое описание

Модуль драйвера светодиодов (Рисунок 1) сделан на основе микросхемы понижающего преобразователя TS19376CY5, выпускаемого в корпусе SOT89-5. В понижающем драйвере реализовано гистерезисное регулирование, обеспечивающее довольно хороший КПД, превышающий 90%, и в то же время не требующее частотной коррекции. Выходной ток задается сопротивлением включенных

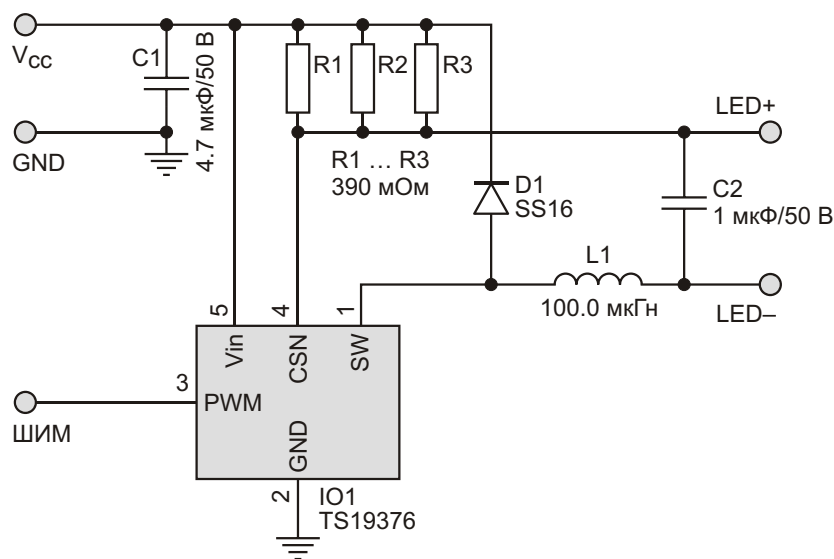


Рисунок 1. Схема драйвера светодиодов.

параллельно резисторов R1...R3 в соответствии с масштабным коэффициентом 0.13 Ом/1 А.

Гистерезисное регулирование вкратце можно описать так. Внутренний ключ микросхемы драйвера TS19376 подключает входное напряжение к нагрузке через индуктивность L1. Ток через индуктивность линейно нарастает до тех пор, пока напряжение на выводе CSN микросхемы не достигнет 149.5 мВ (130 мВ плюс гистерезис, равный 15% от 130 мВ). Встроенный ключ в этот момент закрывается, и текущий через индуктивность и D1 ток начинает линейно спадать. Когда напряжение на выводе CSN уменьшается до 110.5 мВ (130 мВ минус напряжение гистерезиса), ключ вновь открывается и процесс повторяется (Рисунок 2).

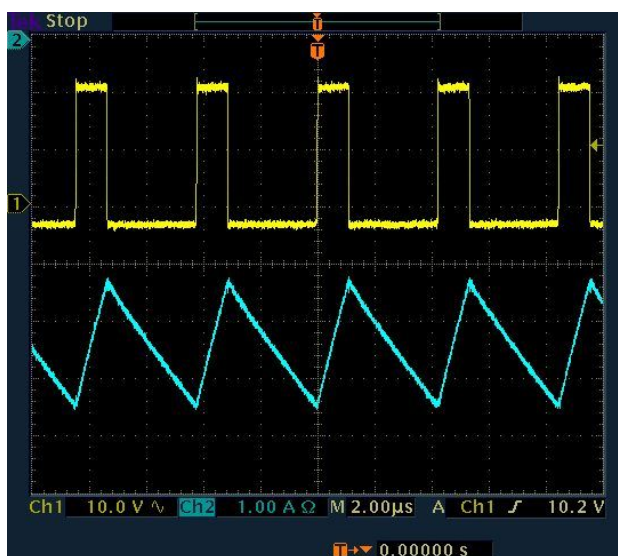


Рисунок 2. Форма напряжения на выводе SW микросхемы TS19376. («Земля» осциллографа подключена к V_{CC}).

Частота переключения определяется выходным током (I_{LED}), входным напряжением (V_{CC}), выходным напряжением и величиной индуктивности L1.

ШИМ регулирование

Средний ток светодиода может управляться сигналом ШИМ. Такое диммирование очень распространено и легко реализуется либо с помощью микроконтроллера, либо иными способами, например, схемой на основе таймера 555. Сигнал ШИМ, подаваемый на вход PWM модуля (Рисунок 3), должен иметь нижний логический уровень менее

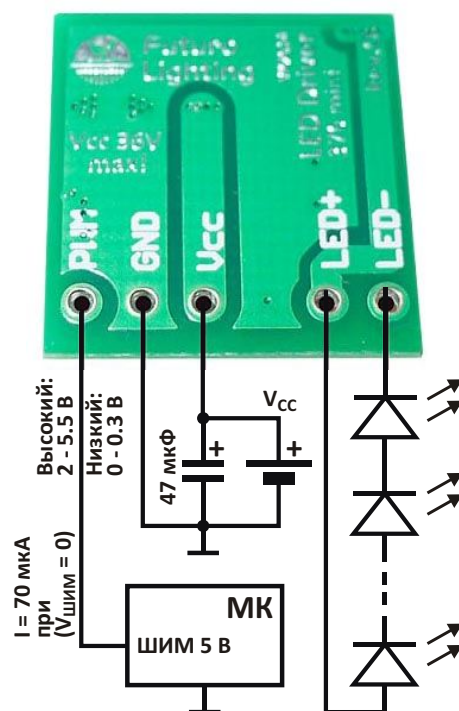


Рисунок 3. Схема подключения драйвера светодиодов.

0.3 В, а верхний – более 2 В. TS19376 может работать при сравнительно высоких частотах ШИМ, что позволяет реализовать быстрое ШИМ регулирование с разрешением более 8 бит.

На входе ШИМ имеется подтягивающий резистор, поэтому при отключении входа ШИМ модуля ток светодиода I_{LED} увеличивается до максимального значения. Для исключения видимых мерцаний рекомендуется выбирать частоту ШИМ выше 100 Гц.

Практическая реализация

Отвод тепла от микросхемы TS19376 осуществляется дополнительным слоем металлизации на обратной стороне печатной платы, термически связанным с верхней поверхностью через переходные отверстия. Для исключения бросков тока при включении драйвера входной конденсатор C1 должен иметь малое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Емкость конденсатора C1 рекомендуется выбирать из диапазона 4.7 ... 100 мкФ с диэлектриками X7R, X5R или лучшими. C1 следует разместить как можно ближе к выводу питания микросхемы IO1.

Оптимальный диапазон значений индуктивности L1 – 47...120 мкГн. Небольшая индуктивность лучше подходит для больших

токов, а более высокие значения – для меньших токов, когда задержкой переключения можно пренебречь. Для снижения электромагнитных излучений размещать компоненты на печатной плате следует таким образом, чтобы площадь петли, по которой течет импульсный ток, была минимальной. Начало обмотки индуктивности должно быть подключено к коммутационному узлу (вывод SW микросхемы IO1).

У диода D1 при наибольшей рабочей температуре должен сохраняться низкий ток насыщения. Прямое падение напряжения на D1 влияет на КПД преобразования: чем оно ниже, тем выше КПД и меньше тепловые потери. Рекомендуется предусматривать 30-процентный запас по току диода относительно тока I_{LED} . Для данной конструкции в качестве D1 выбран выпрямительный диод Шоттки SS16 с максимальным током 1 А и допустимым напряжением до 60 В.

Конденсатор C2 подавляет пульсации выходного напряжения. Чем больше его емкость, тем меньше величина пульсаций и ниже частота ШИМ. Подчеркнем еще раз: от величины емкости C2 зависит максимальная частота ШИМ.

В конструкции используется заложенная в микросхему функция защитного отключения при перегреве. В случае если температура кристалла превысит 150 °С, драйвер отключится до тех пор, пока температура не опустится ниже 115 °С. Эта защита позволяет избегать перегрева модуля. Для улучшения тепловых характеристик модуль драйвера можно установить на внешний теплоотвод с помощью двусторонней теплопроводящей ленты. Можно также расширить функциональность модуля, подключив к нему фильтр электромагнитных излучений и цепь защиты от обратной полярности подключения (Р-канальный МОП ключ), однако необходимость этих дополнений определяется только требованиями конкретного приложения. Модуль монтируется на печатной плате размером 16 16 мм, сделанной из двухстороннего стеклотекстолита FR4 толщиной 1 мм.

Технические характеристики

- Топология: понижающий
- Микросхема драйвера: TS19376CY5
- Регулирование: гистерезисное
- Входное напряжение: 8...33 В DC

- Выходной ток: 100...500 мА
- Частота переключения: 1 МГц макс.
- Масштабный коэффициент задания тока: 0.13 Ом/1 А
- Диммирование: ШИМ, частота до 20 кГц
- Функции безопасности:
 - Отключение при перегреве
 - Защита от перегрузки по току
- Размеры: 16 16 5.5 мм
- Вес: 1.6 г

Перечень материалов

IO1	TS19376CY5 Taiwan Semiconductor
C1	4.7 мкФ/50 В (X7R, SMD 1210)
C2	1 мкФ/50 В (X7R, SMD 1206)
D1	SS16, Taiwan Semiconductor
L1	100 мкГн, 800 мА, 433 мОм 74404064101 Würth
R1	0.39 Ом (SMD 0805)
PCB	Futuro Lighting 376, Rev.0

Заключение

Описанный драйвер имеет множество применений – от управления массивами светодиодов средней и большой мощности до схем заряда аккумуляторов и других устройств, где требуется источник стабильного постоянного тока. Количество светодиодов в последовательной цепочке определяется минимально допустимым входным напряжением (V_{CC}). Как можно видеть из Рисунка 4, чем ближе V_{LED} к V_{CC} , тем выше КПД схемы. Например, при $V_{CC} = 12$ В наилучшей нагрузкой будет последовательная цепочка из трех светодиодов, поскольку прямое падение напряжения на каждом из них равно примерно 3 В. Все измерения, результаты которых отображены на Рисунке 4,

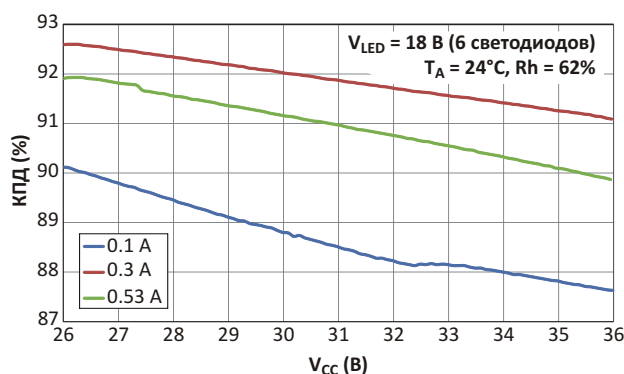


Рисунок 4. Зависимость КПД от входного напряжения.

выполнялись при комнатной температуре с помощью автоматизированной испытательной установки. [РЛ](#)

Материалы по теме

1. [Datasheet Taiwan Semiconductor TS19376CY5](#)

Искусство волн: образы на экране осциллографа

Arash Ushani

EDN

Как профессиональный инженер я нередко переутомляюсь и испытываю стрессы. Когда я нуждаюсь в перерыве, я сажусь за стол и начинаю играть с волнами. Я наслаждаюсь созданием и созерцанием сигналов, имеющих самые различные формы и размеры. Это стало почти моей страстью, которая напоминает мне о магии волн в минуты напряжения.

Несмотря на невероятные эффекты компьютерных графических технологий, создание фигур Лиссажу и других изображений на экране осциллографа все еще захватывает нас. Они в деталях описаны на множестве онлайн страниц, где всегда можно найти несколько популярных картинок. Практически

каждый инженер, работавший с осциллографом, в какой-то момент наблюдал эти фигуры. Технические журналы, в том числе и EDN, время от времени также публикуют материалы с описаниями способов рисования интересных фигур Лиссажу. Фигуры Лиссажу, по существу представляющие собой отображение взаимосвязей напряжений и частот двух сигналов, любили использовать создатели старых фантастических фильмов для представления «супертехнологий».

Для создания таких фигур вам потребуются два источника сигналов и двухканальный осциллограф с наличием режима «XY». В этой статье я использовал осциллограф Analog Arts SL987 с встроенным генератором

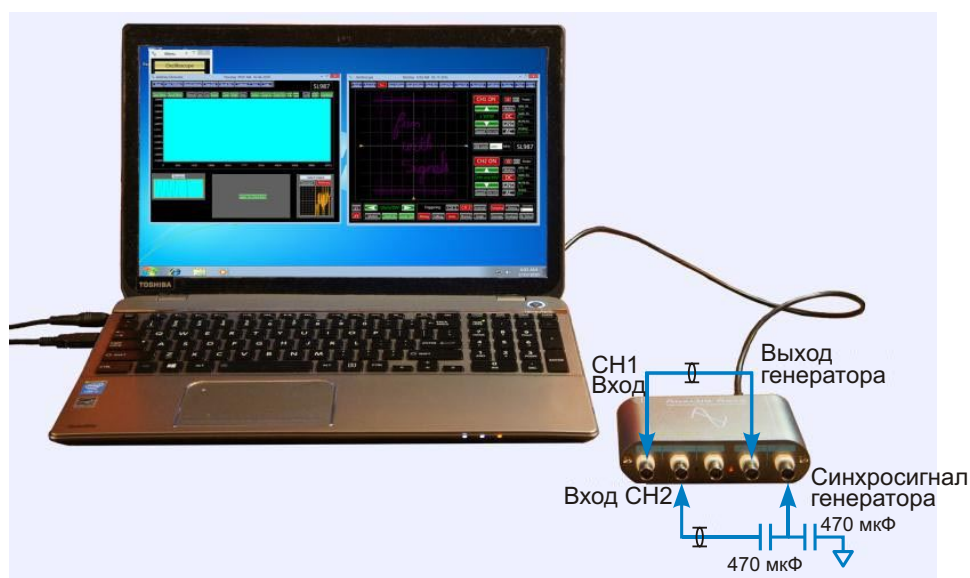


Рисунок 1. Подключив два канала генератора сигналов, вы сможете увидеть фигуры Лиссажу.

сигналов произвольной формы, но вы можете использовать любой осциллограф и любой генератор. На Рисунке 1 показано, как должен быть соединен выход генератора сигналов с входом CH1 (или «X») осциллографа. Прежде всего, выход синхронизации генератора (SYNC) следует шунтировать на землю конденсатором 470 мкФ, чтобы уменьшить времена нарастания и спада. Затем через другой конденсатор 470 мкФ, блокирующий постоянную составляющую сигнала, подключают коаксиальным кабелем к входу CH2 (или «Y») осциллографа. В результате будет сформирована синхронизированная последовательность грубых треугольных импульсов, которая будет использоваться в качестве напряжения вертикальной развертки.

Конденсаторы на выходе SYNC генератора искажают прямоугольные импульсы. При частоте выходного сигнала порядка 20 Гц искаженный сигнал SYNC будет иметь псевдотреугольную форму с амплитудой 1.2 В пик-пик. На Рисунке 2 желтым цветом изображен сигнал «X», синим – «Y», а результирующая фигура Лиссажу имеет розовый цвет.

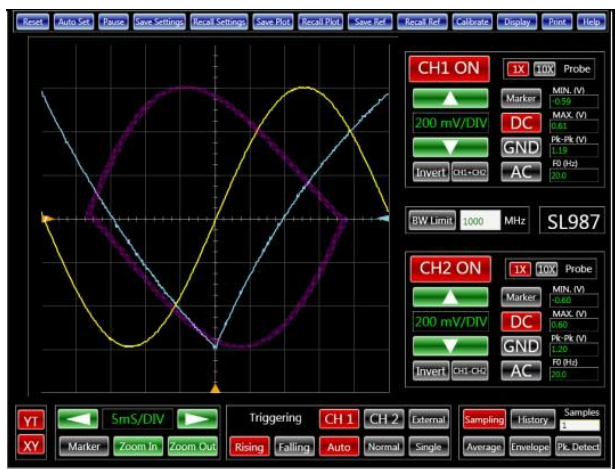


Рисунок 2. Для того, чтобы рисовать фигуры Лиссажу, каналы осциллографа надо использовать как входы X и Y.

Переключив генератор в режим сигналов произвольной формы, вы сможете создавать более изысканные и сложные фигуры. К примеру, генерация двух периодов синусоиды при объеме памяти 64 Кбайт и частоте выборки 1.3 МГц, позволяет нарисовать фигуру, показанную на Рисунке 3.

Фигуры Лиссажу – это здорово, но что, если бы вам удалось нарисовать на осциллографе лицо, или какое-нибудь другое про-

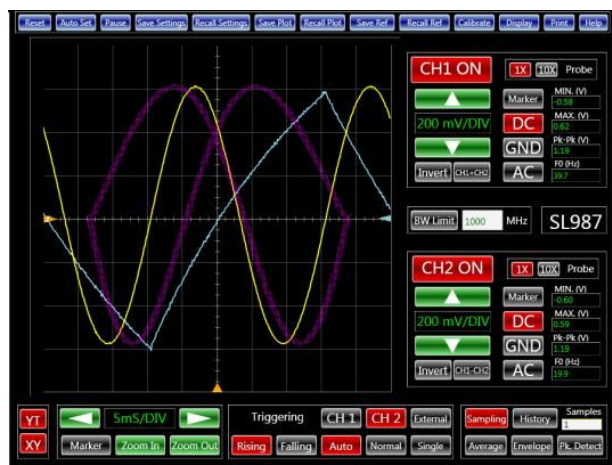


Рисунок 3. А это более интересная фигура Лиссажу.

извольное изображение? Сформировав соответствующие сигналы на входах «X» и «Y», вы можете создать любую картинку. Фактически, в точности так же работали старые телевизоры с электронно-лучевой трубкой. Чтобы создать изображение на экране осциллографа, для каждого значения псевдотреугольного сигнала на входе «Y» должен быть рассчитан сигнал «X», основанный на цифровом представлении изображения. Остается решить небольшую проблему: как сгенерировать сигнал, соответствующий желаемому изображению. В любой заданный момент времени вертикальная развертка определяет место, где сейчас будет рисоваться картинка. Для примера представим, что сигнал нашей вертикальной развертки изменяется в диапазоне от -1 В до $+1$ В. Когда он равен -1 В, сигнал на входе CH1 или «X» должен рисовать нижнюю часть изображения, а когда 0 В – центральную строку изображения. Поскольку вертикальная развертка синхронизирована с генератором сигналов произвольной формы, мы можем точно предсказать ее положение для каждой выборки сигнала генератора. Таким же образом мы можем сформировать собственный сигнал произвольной формы. Примерно так же создается изображение в некоторых форматах видео.

В какие-то моменты времени сигнал генератора одновременно должен иметь амплитуду и -1 В, и $+1$ В. Как же это сделать? Вы можете решить задачу быстрым переключением между различными требуемыми напряжениями. Уровень сигнала на короткое время может оставаться равным -1 В, а затем быстро и ненадолго перескакивать на $+1$ В, потом

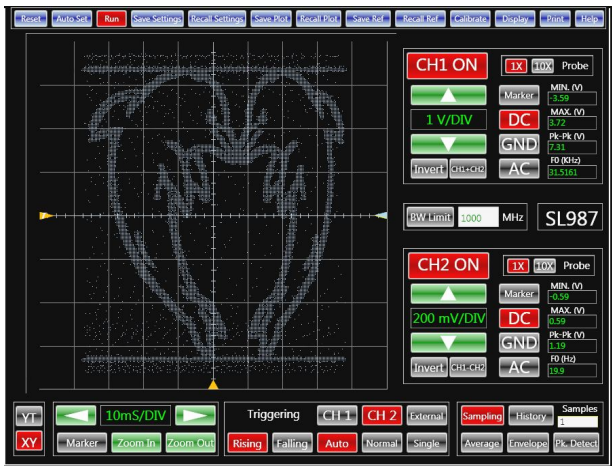


Рисунок 4. Дельфины на осциллографе? Кто бы мог подумать?

вновь на -1 В, и так далее, период за периодом. Однако, для того, чтобы такая схема работала, вы должны убедиться, что ваш генератор функций имеет малое время нарастания, а полоса осциллографа достаточно широка.

Вы можете взять любую черно-белую картинку (то есть, пиксельную карту, показывающую, где включать, а где выключать ваш сигнал). Я написал на Python простое приложение, преобразующее изображение в сигнал, который сохраняется в файле формата csv, и может быть загружен вами в функциональный генератор. Сам по себе сигнал генератора похож на тарбарщину. Но при наблюдении в режиме XY с вертикальной разверткой появляются исходные изображения. Как они выглядят, показано на Рисунках 4 и 5.

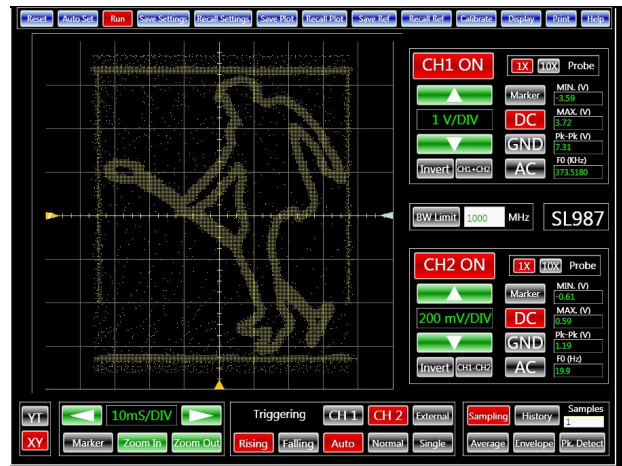


Рисунок 5. Что бы сказал Элвис, увидев себя на экране осциллографа?

Обычно из картинок с четкими границами, таких, например, как в мультфильмах, получаются четкие изображения. Эффект «снега» в этих изображениях возникает из-за выходного фильтра генератора, ограничивающего полосу сигнала. В идеале, чтобы исключить эти эффекты, вам нужны бесконечные полосы пропускания, как генератора, так и осциллографа. Качество изображения можно повысить с помощью алгоритмов цифровой обработки сигналов. Но как бы то ни было, наблюдать картинки на экране осциллографа действительно очень приятно. Я призываю вас убедиться в этом самостоятельно. Однако, и я предупредил вас, это занятие, хоть и доставляет большое удовольствие, но может вызвать что-то типа наркотической зависимости. **РЛ**



Демонстрационное видео

Загрузки

Приложение, преобразующее изображение в сигнал формата csv



Использование АЦП микроконтроллера в качестве интерфейса клавиатуры

Les Hughson

EDN

АТМega168 – это прекрасный универсальный 8-битный AVR микроконтроллер фирмы Atmel. Он имеет 23 вывода общего назначения (GPIO), но иногда, по мере роста вашего проекта, контактов ввода/вывода начинает не хватать. Такое недавно случилось и со мной, когда из 23 доступных GPIO два я занял внешним керамическим резонатором, один вывод под линию сброса, 3 для последовательного порта, 14 для ЖК индикатора и 3 для управления RGB светодиодом. Таким образом, все 23 вывода были использованы, и для управления четырьмя кнопками ничего не оставалось. Что же делать? Решение предлагается в этой статье.

Внимательно посмотрев в техническую документацию на АТМega168, можно заметить, что количество доступных выводов для вариантов в 28-выводном корпусе DIP и 32-выводном корпусе TQFP не одно и то же. Версия в корпусе TQFP, помимо рекламируемых 23 GPIO, имеет пару дополнительных выводов VCC и GND, а также два входа АЦП. Таким образом, если я смогу с помощью двух дополнительных входов АЦП считывать данные четырех кнопок, все будет ОК, и моя конструкция будет спасена.

Кроме того, интерфейс пользователя был довольно сильно перегружен функциями, поэтому для вызова на ЖКИ различных пунктов меню приходилось использовать комбинации кнопок. К тому же, разработка софта еще не была закончена, и не было уверенности, что не понадобятся новые комбинации кнопок. Мне хотелось иметь возможность определения нажатия, как каждой отдельной кнопки, так и любых их сочетаний, поэтому

все же я должен был распознавать 2^4 или 16 возможных состояний кнопок.

Ну что же, сначала мне показалось, что это будет несложно. Я просто должен был включить цепочку резисторов между моими четырьмя кнопками и одним из входов АЦП, чтобы каждая кнопка подтягивалась к земле различным количеством резисторов, равномерно распределенных между VCC и GND (Рисунок 1). Однако, когда я попытался это сделать, оказалось, что все не так просто, как представлялось вначале.

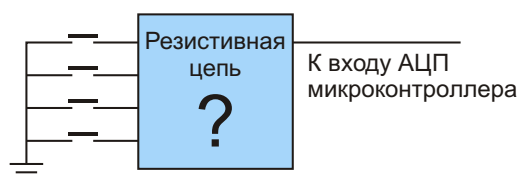


Рисунок 1. Резистивная цепь для четырех кнопок.

Я рассматривал вариант использования лестничной цепочки резисторов R-2R, но для этого потребовались бы переключатели на два направления, чтобы выходы соединялись с VCC или GND и не оставались висящими в воздухе. Поразмышляв об этом некото-

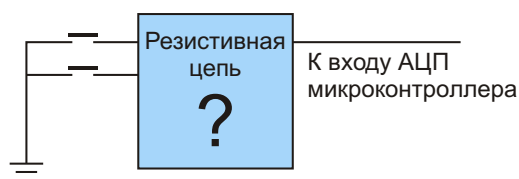


Рисунок 2. Более простая схема с двумя кнопками.

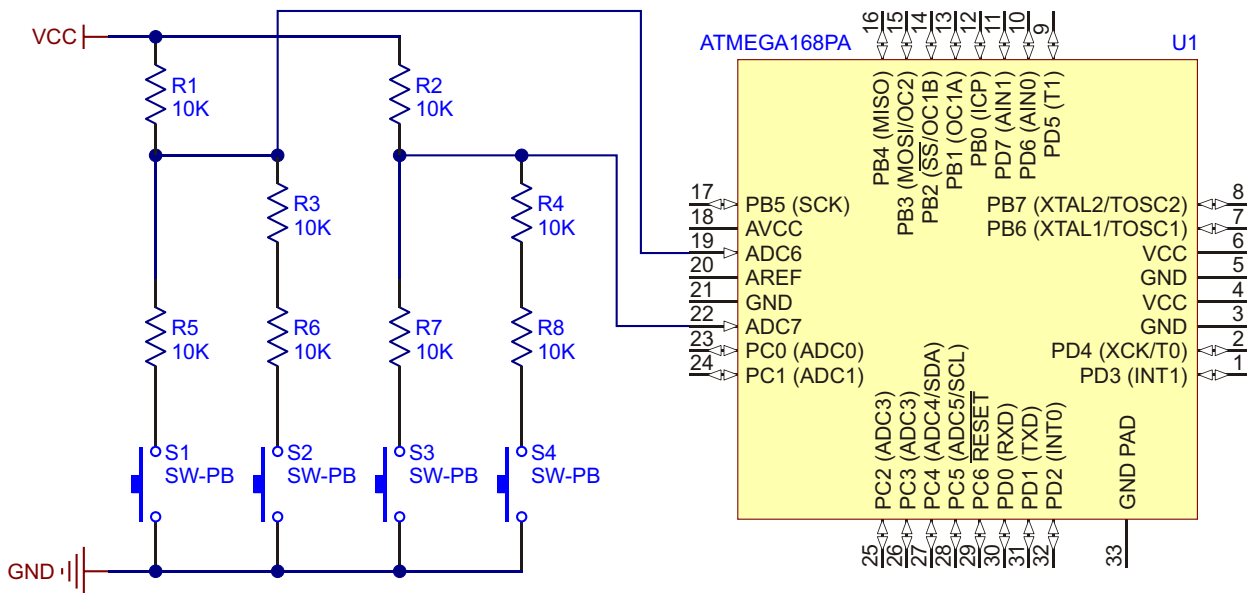


Рисунок 3. Часть схемы с двумя парами кнопок.

рое время, я понял, что пошел по слишком трудному пути, и решение должно быть более простым. Есть два доступных входа АЦП, поэтому, если к каждому из них я подключу только по две кнопки, мне потребуются декодировать лишь 2^2 , или 4 возможных состояния кнопок вместо 16 (Рисунок 2). Если состояния не распределятся равномерно между VCC и GND, особого значения это иметь не будет.

Это привело к созданию схемы, изображенной на Рисунке 3, которая подтвердила правильность выбранного решения довольно долгой работой в серийной продукции одного из моих клиентов. Поскольку сопротивления всех резисторов одинаковы, заменив их одной матрицей из четырех резисторов, например, чем-нибудь типа Bourne 1206, можно уменьшить размеры схемы.

В конце статьи можно загрузить проектные файлы, помогающие понять работу схемы, среди которых есть электронные таблицы в формате OpenOffice. Желтым цветом в них выделены ячейки, в которые вы вводите значения сопротивлений используемых резисторов, напряжение питания и разрешение АЦП. В зеленых ячейках находятся расчетные значения, показывающие работу схемы. Первые три колонки содержат таблицу истинности входов кнопок, а колонка *R Buttons* показывает результирующее подтягивающее сопротивление, образующееся при различных комбинациях нажатых кнопок.

В колонках *Vout* и *Counts* представлены входное напряжение АЦП и его выходной код. Колонка *Count Mid Points* содержит коды АЦП, средние относительно ожидаемых значений; именно они используются для дифференциации различных входов и декодирования нажатых кнопок. Это дает гарантию, что все возможные комбинации входных значений будут декодированы, а запас, учитывающий разброс номинальных значений сопротивлений, шумы и прочее, будет максимальным.

Программа, декодируя выходные коды АЦП, определяет, какая из четырех комбинаций кнопок была нажата, устраняет дребезг и управляет повторами, если какие-то кнопки удерживаются нажатыми в течение продолжительного времени.

Как обнаружилось, распределение кодов получилось не вполне линейным. Тем не менее, даже ближайшие значения разделены интервалами, достаточными для практического использования. Результаты, представленные в графическом виде на Рисунке 4, демонстрируют эту нелинейность, и, кроме того, наглядно показывают, что почти половина входного диапазона АЦП в такой схеме остается неиспользованной.

Это приемлемая плата за простоту, которая, однако, заставила меня задаться вопросом, можно ли придумать более хорошее решение задачи, и побудила пересмотреть первоначальные представления о схеме на

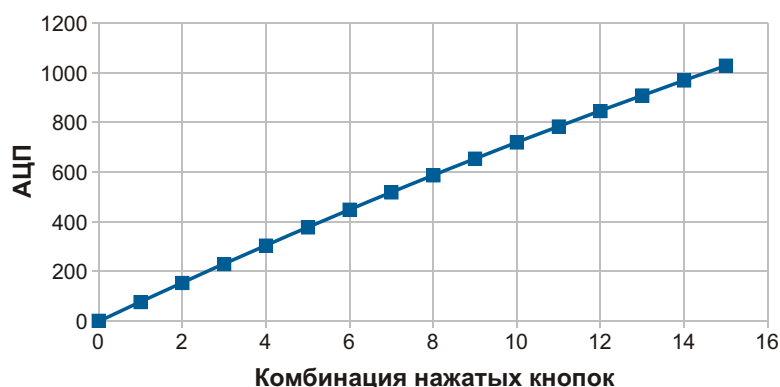


Рисунок 6. Зависимость входного напряжения АЦП от номера комбинации нажатых кнопок для схемы на Рисунке 5.

резисторов из стандартного ряда номиналов. Нужные сопротивления R13 и R14 можно набрать путем последовательного соединения резисторов 20 кОм, а R9 может состоять из пары параллельно соединенных резисторов 10 кОм, к которым последовательно подключены три параллельных резистора 1 кОм. При использовании этих трех номиналов для всей схемы будет достаточно четырех резисторных матриц и одного отдельного резистора.

Работа схемы иллюстрируется графиком на Рисунке 6, показывающим значительное улучшение линейности по сравнению с предыдущим вариантом. Продолжая геометрическую прогрессию резисторов, эту схему можно расширить до пяти и, возможно, до шести кнопок. Однако для надежной работы схемы потребуется тщательный подбор сопротивлений резисторов, после чего придется провести ряд экспериментов для определения минимальных и максимальных значений сопротивлений.

Опыт, приобретенный в процессе создания и исследования схемы, выявил незначительную проблему, связанную с выводом AREF микроконтроллера, потребляющим небольшой ток и вносящим ошибку в опорное напряжение. Ток вывода AREF приводится в справочных данных на микроконтроллер, и может быть учтен. Для компенсации вносимой этим выводом ошибки последовательно с R10 необходимо включить резистор 33 Ом.

После такой коррекции экспериментальные результаты, полученные при использовании 8-битного АЦП, отличались от расчетных значений из электронной таблицы не более чем на один отсчет. Разработка программного кода для этой версии схемы оставлена в качестве упражнения для читателей.

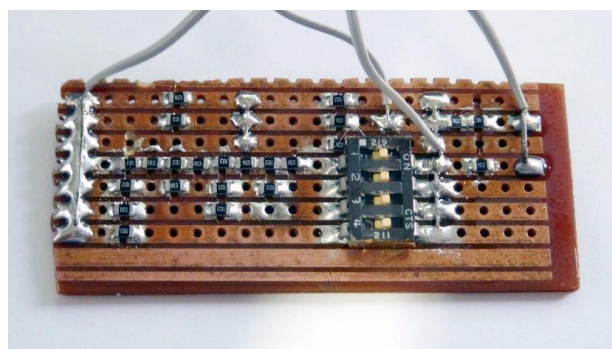


Рисунок 7. Макет схемы с четырьмя кнопками.

Есть возможность обойтись вообще без R9 и R10, воспользовавшись напряжением 1.1 В внутреннего источника опорного микроконтроллера. В этом случае сопротивление R15 потребует изменить с 1 кОм на 1.5 кОм. Однако тогда на результаты измерений будет влиять точность напряжения VCC.

Теперь, после большой проведенной работы, кажется, что цель, которую мы ставили перед собой, глядя на Рисунок 1, была не такой уж трудно реализуемой. **РЛ**

Загрузки

Проектные файлы в формате OpenOffice



Быстрый, малозумящий, термостабильный усилитель на полевом транзисторе

Shyam Sunder Tiwari

EDN

Хотя полевые транзисторы с р-п переходом и являются отличными устройствами для недорогих усилителей с высокоимпедансными входами, использование их в подобных схемах затрудняется значительным температурным дрейфом крутизны (Рисунок 1). Проблему можно смягчить, установив ток стока в рабочую точку с нулевым дрейфом во всем диапазоне температур от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

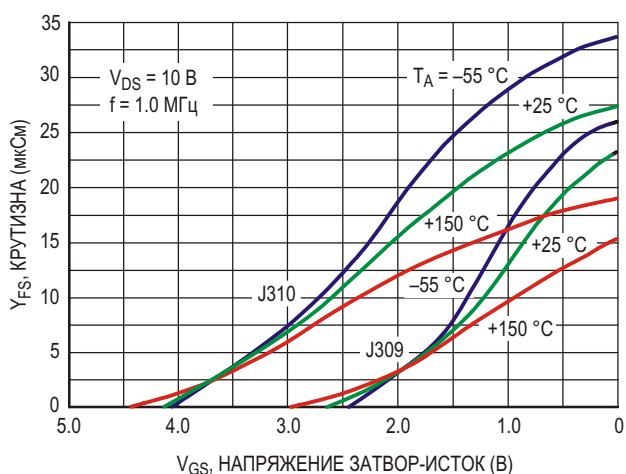


Рисунок 1. Температурная зависимость крутизны для полевых транзисторов J310 и J309 (ON Semiconductor).

Для описываемой схемы (Рисунок 2) были испытаны различные полевые транзисторы с р-п переходом: Sony 2SK152-2, Interfet IFN152 и Siliconix/Vishay/ON Semiconductor J309, любой из которых имеет большое уси-

ление и малый ток утечки порядка 100 пА . С этими полевыми транзисторами можно сделать усилитель, имеющий входное сопротивление от 1 МОм до 1 ГОм . Схема хорошо работает до частот, превышающих 100 МГц .

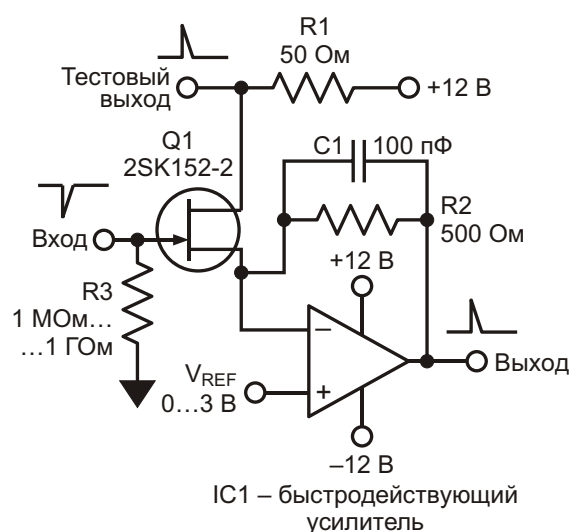


Рисунок 2. Быстродействующий усилитель с полевым транзистором, имеющий высокостабильное усиление и высокое входное сопротивление в очень широком диапазоне температур.

Одним из достоинств предлагаемой схемы является широкий диапазон рабочих температур ($-55\text{ }^{\circ}\text{C}$... $125\text{ }^{\circ}\text{C}$) используемого полевого транзистора. Микросхема IC1 не нуждается в специальных условиях и может

работать при комнатной температуре, подключенная к транзистору через несколько футов коаксиального кабеля с фторопластовой изоляцией. Таким образом, полевой транзистор может быть смонтирован в охлаждаемом объеме и иметь минимальный уровень шумов, что и было главной целью разработки.

Входной сигнал подается на затвор полевого транзистора Q1, соединенный с «землей» резистором R3, сопротивление которого можно уменьшить, если сигнал поступает от источника тока.

Потенциал истока транзистора смещается инвертирующим преобразователем тока-напряжения, основанным на микросхеме IC1. Опорное напряжение V_{REF} , для большинства полевых транзисторов равно 0 ... 3 В, управляет напряжением затвор-исток (V_{GS}) в режиме покоя, позволяя выставить ток стока в среднюю точку области нулевого дрейфа крутизны. Одновременно этим обеспечивается большой динамический диапазон для входного сигнала. Регулируя V_{REF} , мы можем установить ток рабочей точки Q1 равным 7...10 мА, что будет близко к точке нулевого дрейфа. Рабочий ток необходимо тщательно изучать и индивидуально подбирать для каждого типа транзисторов. Например, для тысячи испытанных транзисторов 2SK152-2 этот ток составил 7.5 ± 1 мА.

В качестве IC1 должен использоваться широкополосный усилитель с обратной связью по току. Хорошо показали себя выпускаемые Analog Devices усилители AD812 при

напряжении питания от ± 12 В до ± 15 В и AD8009 при напряжении питания ± 5 В. Сопротивление резистора обратной связи R2 можно выбирать из диапазона 500 Ом ... 5 кОм. Включенный параллельно с ним конденсатор C1 емкостью 100 пФ подавляет генерацию и выбросы напряжения. Не забывайте, что выходное напряжение усилителя смещено из-за смещения входного каскада, поэтому лучше всего использовать схему для усиления переменных или импульсных сигналов. При правильном сочетании R2 и C1 можно получить время нарастания от 10 нс до 100 нс. Усилители с обратной связью по току работают в интервале коэффициентов усиления от 2 до 10, которые задаются резистором R2. При более высоких коэффициентах усиления в схеме начинается генерация.

С помощью резистора R1 организована контрольная точка, предназначенная для измерения тока, протекающего через полевой транзистор. Кроме того, она является источником сигнала с выходным сопротивлением 50 Ом, который можно напрямую подключать к осциллографу. Оба выходных сигнала инвертированы относительно входного и имеют типичный размах ± 100 мВ. Для работы с сигналами, имеющими постоянную составляющую, перед затвором следует включить конденсатор емкостью от 1 нФ до 10 нФ. **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet ON Semiconductor J309-D](#)
2. [Datasheet Analog Devices AD812](#)
3. [Datasheet Analog Devices AD8009](#)

Простая схема миллиомметра

A Hunt

EDN

Занимаясь недавно отладкой своей схемы, я обнаружил короткое замыкание слоя питания на землю. Миллиомметра или тестера с эквивалентными возможностями для поиска коротких замыканий у меня не было. Поэтому я вошел в Интернет, чтобы найти описание простого миллиомметра. Я нашел ответ в технической документации производителя, в которой излагались основы четырехпроводного измерения малых сопротивлений. В описанном методе использовалась микросхема источника опорного напряжения, служившая входным каскадом для управляемого источника постоянного тока. Я быстро откопал в куче старых компонентов управляемый стабилизатор напряжения LM317. Между своими выводами V_{OUT} и V_{ADJ} эти микросхемы поддерживают напряжение

1.25 В – стабильное напряжение, позволяющее подойти к решению проблемы постоянного тока. Оставалась еще нерешенная проблема диапазона выходных напряжений источника постоянного тока. Схема, над которой я работал, питалась напряжением 3.3 В; таким образом, и напряжение милливольтметра я должен был ограничить этим же значением. При высоком выходном сопротивлении выходное напряжение LM317, включенной в конфигурации источника постоянного тока, равно входному напряжению. Я хотел использовать лабораторный источник питания или батарею 9 В, напряжение которых изжарило бы на плате любую логику 3.3 В. В идеале мне хотелось ограничить напряжение уровнем 1.5 В. В результате я пришел к схеме, изображенной на Рисунке 1.

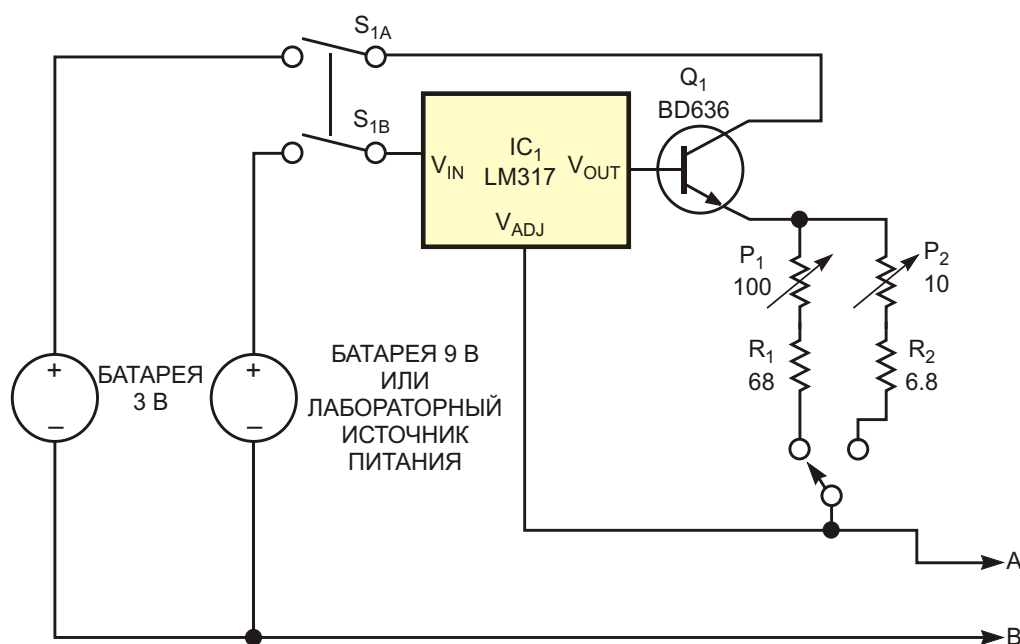


Рисунок 1. Сделайте собственный миллиомметр из микросхемы регулятора напряжения и нескольких резисторов.

IC₁ управляет базовым током n-p-n транзистора Дарлингтона Q₁. Микросхема стабилизирует напряжение, падающее на выбранном резисторе, образуя, таким образом, источник постоянного тока. В зависимости от подключенного эмиттерного сопротивления, выходной ток источника равен либо 10, либо 100 мА. Выключатель S₁ позволяет продлить срок службы батареи. Вы можете откалибровать источник тока, подключая резистивную нагрузку между точками А и В и измеряя напряжение на резисторе с помощью цифрового мультиметра. Я использовал 5 и 10 Ом и устанавливал ток 10 мА в одной позиции переключателя S₂ и 100 мА в другой. Для измерения малых сопротивлений к проверяемому участку подключите точки А и В. Диапазон измерений мультиметра переключите на милливольты. Мультиметр покажет напряжение, пропорциональное измеряемому сопротив-

лению. Если вы откалибруете схему по предложенной методике, показания прибора будут соответствовать 10 Ом/В на диапазоне 100 мА, и 100 Ом/В на диапазоне 10 мА.

Для поиска коротких замыканий на печатной плате подключите А и В к точкам печатной платы, между которыми по вашему предположению может находиться участок с коротким замыканием. Подключите один щуп мультиметра к измерительной точке А, а другой используйте для проверки схемы. Неизменное напряжение вдоль трассы печатной платы указывает на то, что ток по нему не течет, и данный проводник не является причиной короткого замыкания. Чтобы локализовать точку короткого замыкания, ищите места с наибольшими показаниями мультиметра на участках с низкими показаниями и места с наименьшими показаниями на участках с высокими показаниями. **РЛ**

Маломощный генератор прямоугольных импульсов с режимом сна

Chau Tran, Analog Devices

EDN Europe

Во многих аудио, автомобильных и измерительных приложениях требуются недорогие, но высокостабильные и точные генераторы прямоугольных импульсов, способные отдавать в нагрузку достаточный ток. Интерес к дешевым способам реализации высококачественных приложений имеется всегда. Изображенная на Рисунке 1 схема состоит из бюджетного сдвоенного операционного усилителя (ОУ) с дополнительной функцией отключения и нескольких пассивных компонентов.

В схеме на Рисунке 1 использована микросхема ADA4807-2 – сдвоенный маломощный малозумящий rail-to-rail усилитель с обратной связью по напряжению. Первый ОУ (А) выполняет основную функцию генерато-

ра прямоугольных импульсов, а второй (В) является лишь драйвером. Типовое значение втекающего или вытекающего тока, который может отдавать этот драйвер, равно ± 40 мА. ОУ А работает как компаратор. Усилитель охвачен положительной обратной связью и медленной отрицательной обратной связью, переключаемой RC-цепочкой, благодаря чему схема находится в режиме автоматической генерации. Когда напряжение на конденсаторе сравнивается с каждым из порогов, источник его заряда переключается с положительной шины на отрицательную и обратно.

Система находится в неустойчивом равновесии, пока напряжения на входах и выходах компаратора равны точно нулю. Однако любые шумы смещают выходное напряжение вверх или вниз относительно нуля, и благодаря положительной обратной связи напряжение на выходе компаратора быстро достигает уровня одной из шин питания и остается на нем до следующего цикла.

Между инвертирующим входом и выходом компаратора включена RC-цепочка. Вследствие этого напряжение на инвертирующем входе компаратора асимптотически стремится к выходному напряжению компаратора с постоянной времени RC.

Постоянная времени RC определяет частоту генерации:

$$f = \frac{1}{2 \ln(3) RC}$$

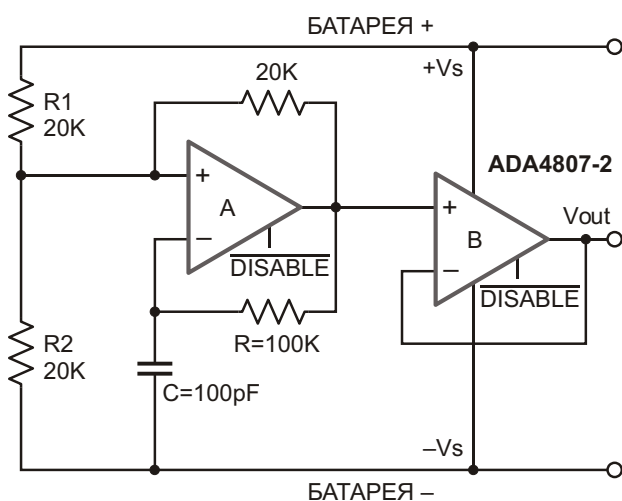


Рисунок 1. Генератор прямоугольных импульсов.

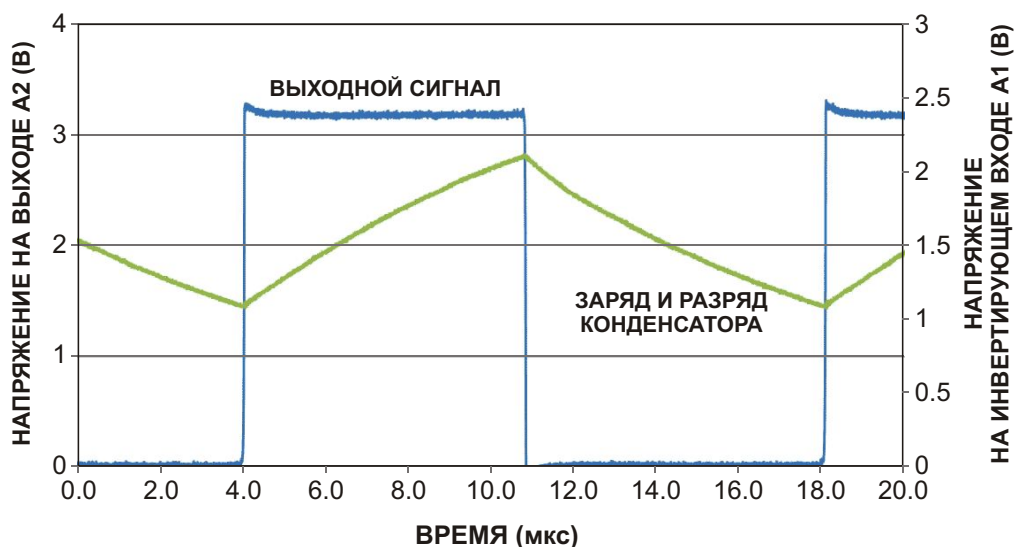


Рисунок 2. Форма выходного сигнала недорогого генератора прямоугольных импульсов.

Коэффициент заполнения импульсов можно регулировать, меняя соотношение сопротивлений резисторов R1 и R2. В рассматриваемой схеме эти резисторы одинаковы, поэтому выходные импульсы симметричны.

Пиковые уровни выходного сигнала драйвера лишь на 40 мВ меньше напряжения шин питания, при типовых значениях линейных вытекающих и втекающих токов 50 мА и 40 мА, соответственно.

Выход DISABLE позволяет включать и выключать генератор. Такая функция перехода в «спящий» режим очень полезна для сни-

жения потребляемой мощности. Для отключения схемы на время, когда она не используется, достаточно подать на вывод DISABLE напряжение менее 1.1 В. Это не более чем за 200 нс автоматически снизит ток, потребляемый двумя ОУ, до ничтожно малого уровня. Остальная часть тока, потребляемого схемой, приходится, в основном, на резистивный делитель R1, R2. При переводе устройства в спящий режим ток, потребляемый от батареи, с 2 мА уменьшается до 80 мкА. При этом выход схемы переходит в высокоимпедансное состояние, а для пробуждения и возврата в активный режим достаточно всего 500 нс.

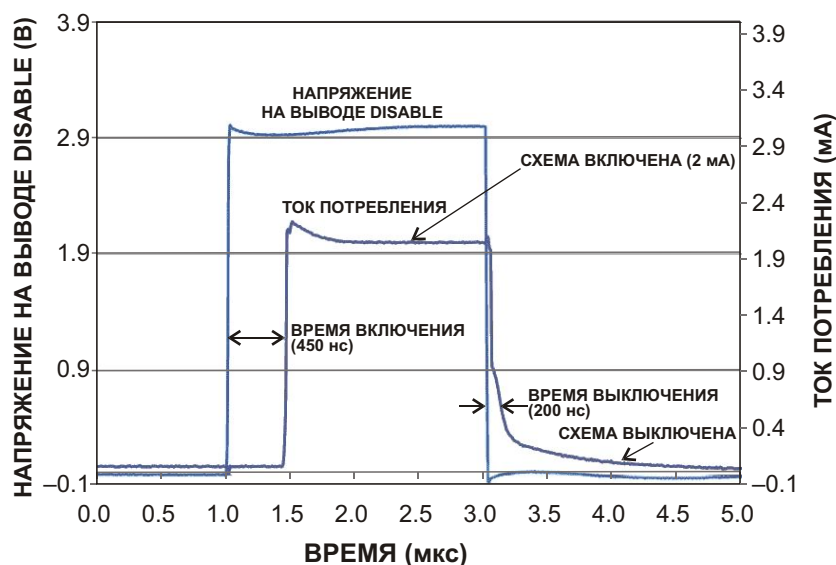


Рисунок 3. Вывод DISABLE позволяет быстро включать и выключать схему.

Типовой ток потребления сдвоенного ОУ, использованного в схеме на Рисунке 1, равен 2 мА при напряжении питания 3 В. То есть, в активном режиме рассеиваемая мощность составляет 6 мВт. Однако в спящем режиме типовой ток потребления резко снижается до 2 мкА, и мощность рассеивания падает до 6 мкВт. Это соответствует коэффициенту экономии энергии 1000:1.

Легко и быстро переключаться между двумя режимами дает возможность наличие выводов блокировки. Благодаря исключительно малому времени включения и выключения, составляющему несколько сотен наносекунд, переключение режимов происходит практически без задержки.

Схемы такого типа могут использоваться в качестве времязадающих во множестве при-

ложений. Изменение соотношения сопротивлений резисторов R1 и R2 дает возможность управлять коэффициентом заполнения выходных импульсов. Сочетание малого потребления мощности, rail-to-rail входов и выходов и удобного режима сна обеспечивает продолжительную работу этой схемы при питании всего от двух батареек типоразмера АА. А высокая нагрузочная способность ОУ и его быстрое включение/выключение позволяют в ряде случаев отказаться от силового транзистора и реализовать экономящие энергию рабочие схемы с чередованием режимов. **ПЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet Analog Devices ADA4807-2](#)

Умножитель облегчает измерение сверхнизких частот

Karen Hunsberger

Electronic Design

При измерении очень низких частот в примерном диапазоне от 1 до 100 Гц повышающий преобразователь частоты может быть простой альтернативой измерению периода или необходимости мириться с долгим ожиданием

Иногда инженерам бывает необходимо измерить очень низкие частоты между 1 и 100 Гц, но сделать это с хорошей точностью трудно. Эта задача решается либо значительным увеличением времени счета, либо использованием дорогих частотомеров, способных пересчитывать период в частоту. Предлагаемая здесь дешевая схема эффективно повышает входную частоту до значений, которые могут быть считаны легко и более точно, и может использоваться в составе более сложных схем.

Конструкция основана на микросхемах умножителей частоты повторения 4089 (U4 ... U6), выходная частота каждой из которых равна

$$\frac{N F_{IN}}{16},$$

где

N – 4-битный код на выводах управления,

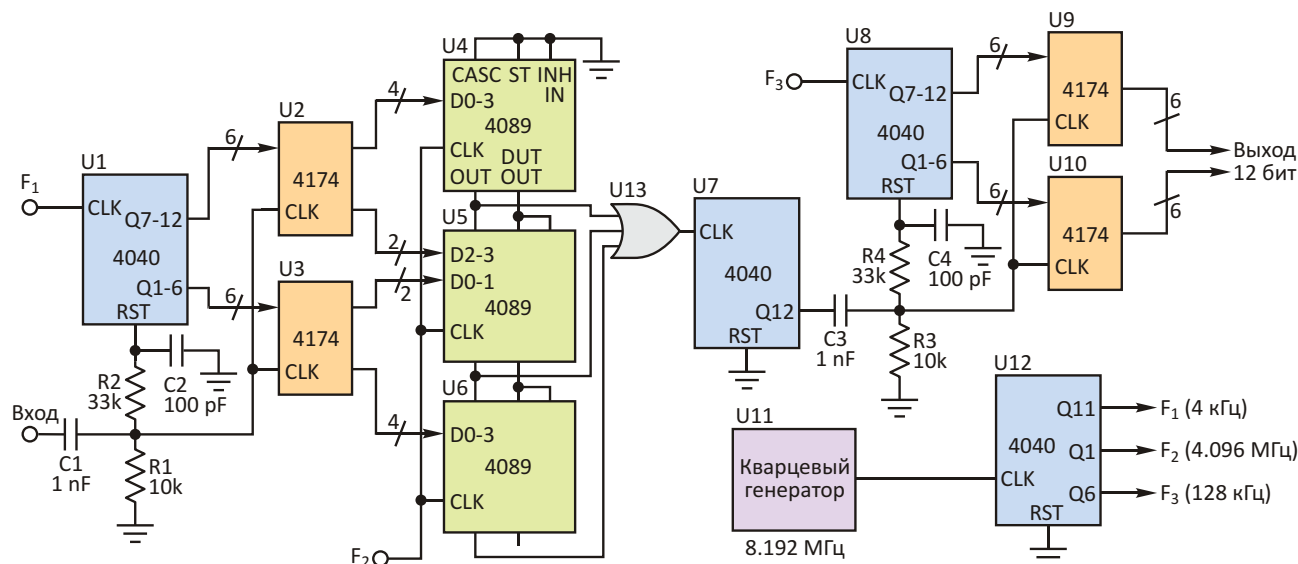
F_{IN} – частота сигнала на входе микросхемы.

При каскадировании трех таких микросхем выражение превращается в

$$\frac{N F_{IN}}{4096}.$$

Заменив три микросхемы 4089 двумя шестизрядными умножителями 7497, можно сократить количество элементов в схеме.

U1 – это 12-разрядный счетчик, измеряющий период входного сигнала. Результат счета защелкивается в U2 и U3. В результате частота импульсов на выходах умножителей



частоты повторения будет прямо пропорциональна периоду импульсов на входе. U7 делит это на 4096, чтобы убрать джиттер и сделать период более удобным для измерений. Аналогично U1, U8 также измеряет период, который защелкивается в U9 и U10. Этим обеспечивается измерение периода выходных импульсов U7, который обратно пропорционален его частоте. Поскольку эта частота пропорциональна периоду сигнала на входе, значения, зафиксированные в U9 и U10, окажутся прямо пропорциональными входной частоте, однако разрешение их будет намного выше, а времени для измерения может потребоваться намного меньше. U11 и U12 формируют все необходимые для синхронизации сигналы. В зависимости от диапазона измерений, из них можно выбирать различные частоты. **ПЛ**

Проиллюстрируем процесс преобразования частоты примером. Если $F_{IN} = 4$ Гц и $F_1 = 4000$ Гц, U1 досчитает до 1000, прежде чем выходной код будет занесен в U2 и U3. Это заставит умножители U4 ... U6 генерировать частоту $1000 \cdot F_2/4096$, или 1 МГц для $F_2 = 4.096$ МГц. U7 делит эту частоту до 244 Гц, а U8 измеряет период как $F_3/244$ Гц, или 524 для $F_3 = 128$ кГц.

Таким образом, мы умножили входную частоту на 131 ($524 \text{ Гц}/4 \text{ Гц}$), а это означает, что схема может обеспечить разрешение 0.0076 Гц за одну секунду. Для измерения непретворенной входной частоты 4 Гц потребовалось бы порядка двух минут.

Материалы по теме

1. [Datasheet Texas Instruments CD4089B](#)
2. [Datasheet Texas Instruments SN7497](#)

Источник питания и аудио усилитель на одной микросхеме

Susanne Nell

EDN

Изображенная на Рисунке 1 схема может оказаться полезной в случае, когда и питание постоянного тока, и аудио сигнал необходимо передать по одной паре медных проводов. Одним из применений такой схемы является недорогая система открывания дверей с речевым вводом. В схеме используется единственная ИС – хорошо всем знакомая LM317 – дешевый регулятор напряжения. Используя эту микросхему, вы можете модулировать управляющий вход ADJ аудио сигналом электретного конденсаторного микрофона, включенного между входом управления и выходом ИС. LM317 управляет выходом таким образом, что напряжение на микрофоне всегда равно 1.25 В DC. В данном приложении используется электретный микрофон WM34, который поставляется компанией Panasonic в 10-миллиметровом корпусе и повсеместно используется в недорогом

оборудовании. Но вы можете взять практически любой электретный корпус, поскольку напряжение на микрофоне хорошо стабилизировано и никогда не превышает 1.25 В. В любом электретном корпусе имеется преобразователь импеданса на МОП транзисторе, превращающий звуковой сигнал в ток, текущий от вывода истока к выводу стока. Протекающий через микрофон ток модулирует напряжение на переменном резисторе R_p . Поскольку выход LM317 должен отслеживать напряжение на R_p , вы получаете низкоомный источник аудио сигнала, смещенного на величину постоянного выходного напряжения.

В связи с тем, что микрофон напрямую модулирует вывод управления, в схему необходимо добавить сглаживающий конденсатор C_1 , чтобы шумы и помехи не влияли на уровень аудио сигнала. C_1 частично шунти-

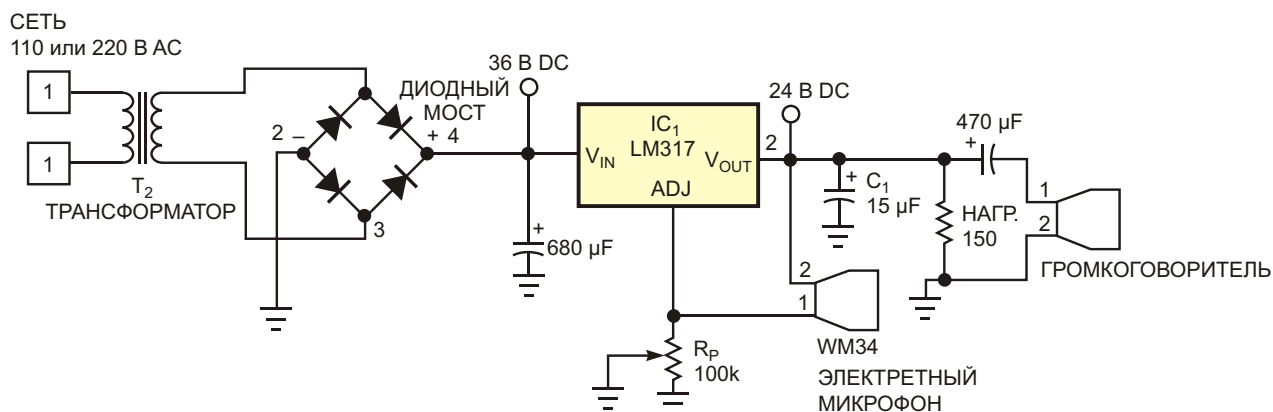


Рисунок 1. В этой нестандартной схеме управляющий вывод микросхемы регулятора напряжения используется для усиления аудио сигнала.

рует аудио сигнал на землю, однако LM317 компенсирует потери внутренним усилением. Во избежание лишних потерь в LM317 емкость конденсатора должна быть, по возможности, минимальной. Схема хорошо работает и вовсе без конденсатора, но значения до 47 мкФ не создают никаких проблем. С помощью R_f вы можете регулировать постоянное выходное напряжение и коэффициент усиления микрофонного сигнала. Для правильной работы LM317 необходимо, чтобы забираемый с выхода мик-

росхемы ток был не менее 4 мА. Если громкоговорителя в вашей конструкции нет, подключите нагрузочный резистор, рассчитанный на ток 4 мА. В конструкциях с низкоимпедансными громкоговорителями также нужны резисторы нагрузки. Ориентируясь на минимальный ток 4 мА, при расчете сопротивлений резисторов вы должны учитывать вклад аудио сигнала. При 8-омном громкоговорителе, чтобы избежать искажений, необходима минимальная резистивная нагрузка 470 Ом. **РЛ**



РАДИОЛОЦМАН

Журнал для тех, кто интересуется электроникой

Если Вам
небезразличны темы:

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

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

приглашаем к сотрудничеству!