

ВЫПУСК
3 (35)
2012

БЮЛЛЕТЕНЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Компоненты

ПОЛНЫЙ СПЕКТР ПРИМЕНЕНИЙ



Обеспечение развязки высокоскоростной шины (SPI)
вопреки большим задержкам распространения сигналов
стр. 12

Преобразователи интерфейса RS-232/RS-485 для удалённой связи
стр. 15

Стандарты испытаний на устойчивость к электростатическому разряду.
Пояснения и сравнение различных
стр. 17

**Совместный проект
ООО «Сканти Рус»
и Texas Instruments, Inc.**

Главный редактор
Грибачёв С. А., к. т. н.

Редакционная коллегия
Боровских А. Н.
Белозор Л. В.
Малиновский Н. Н.

ООО «Сканти Рус»
Официальный
дистрибьютор
Texas Instruments, Inc.

Эксклюзивный
дистрибьютор
Sauris GmbH

Эксклюзивный
дистрибьютор
Spectrum Digital, Inc.

Ответственность
за содержание
рекламы несёт
рекламодатель.
Полное или частичное
воспроизведение
материалов
допускается только
с разрешения
ООО «Сканти Рус»

■ Процессоры

Карл Греб (Karl Greb), Дев Прадхан (Dev Pradhan)

Микроконтроллеры Hercules™: микроконтроллеры реального времени для техники с особыми требованиями к обеспечению безопасности (spry178)..... 1

Роберт Джания (Robert Jania), компания Cypress

Реализация аналогово-цифровой системы и пользовательского интерфейса в одной микросхеме 9

■ Интерфейсы и стандартная логика

Томас Кугельштадт (Thomas Kugelstadt)

Обеспечение развязки высокоскоростной шины (SPI) вопреки большим задержкам распространения сигналов 12

Томас Кугельштадт (Thomas Kugelstadt)

Преобразователи интерфейса RS-232/RS-485 для удалённой связи 15

Дуайт Берд (Dwight Byrd), Томас Кугельштадт (Thomas Kugelstadt)

Стандарты испытаний на устойчивость к электростатическому разряду. Пояснения и сравнение различий 17

Джон Константополус (John Constantopoulos)

Преодоление пространственных ограничений в конструкции USB-модема 22

■ Устройства коммутации

Эдуард Шпрайтцер (Eduard Spreitzer), компания Gruner AG

Бистабильные реле как достижение технологических высот компании Gruner AG 25

■ Усилители и компараторы

Арт Кей (Art Kay)

Анализ и измерение собственных шумов в схемах с операционными усилителями. Окончание. Начало в №2-2012 бюллетеня «Компоненты TI» 28

■ Управление питанием

Билл Швебер (Bill Schweber)

Устройство MEMS TMP006 кардинально меняет схему инфракрасного бесконтактного измерения температуры потребительских изделий 35

Кулер Михаэль (Couleur Michael)

Технология понижающих преобразователей переходит от 3 к 6 МГц. Как это стало возможным?.. 37

■ Продукция партнёров на базе TI

Дзюба С. В., компания Пламкернел

SoM-модуль на базе двухъядерного процессора TMS320C6A8168 Integra 41

Гусев Н. В., Каракулов А. С., компания НПФ Мехатроника-Про

МехBIOS™ Development Studio – инструмент для быстрой разработки встроенного программного обеспечения микроконтроллеров 43

От редакции:

Компания «Сканти Рус» совместно с корпорацией «Texas Instruments» планирует провести серию осенних технических семинаров по новинкам цифровых решений, в частности будет подробно рассмотрена новая платформа микроконтроллеров «Wolverine» и ARM®Cortex™-M4F.

Семинары пройдут в Киеве и Минске. Приглашаем Вас регистрироваться на сайте www.scanti.com в разделе: «В помощь разработчику/мероприятия». Вы также можете заказать на семинар интересные Вас образцы.

Мы работаем для Вас! Все вопросы и пожелания можно адресовать на наш сайт www.scanti.com в разделе «Напишите нам».

Карл Греб (Karl Greb), Дев Прадхан (Dev Pradhan)

Микроконтроллеры Hercules™: микроконтроллеры реального времени для техники с особыми требованиями к обеспечению безопасности



Введение

Электроника продолжает играть всё возрастающую роль в той технике, работа которой имеет решающее значение для сохранения человеческих жизней, будь то на производстве, при ежедневных утренних поездках на работу, в операционной или в массе других мест. Гарантировать, что такая техника будет всегда работать «безопасно» и отвечать строгим требованиям к функциональной безопасности, которые установлены такими стандартами, как IEC 61508 или ISO 26262 — непростая задача. Для обеспечения функциональной безопасности первостепенное значение имеют применение разумных технологий разработки, тщательный

анализ опасностей и рисков, вдумчивый подход к проектированию систем и внимательный выбор элементов аппаратного и программного обеспечения. Острее становится проблема сокращения сроков вывода новых изделий на рынок и ограничений себестоимости, с которыми можно столкнуться даже в случае систем, от которых зависит безопасность.

Более 25 лет корпорация Texas Instruments является ценным партнёром для тех, кто занимается разработкой приложений с особыми требованиями к обеспечению безопасности. Этот опыт позволил компании достичь присущего только ей профессионализма, который сочетает знание новейших разработок в области полупроводников и в сфере обе-

спечения функциональной безопасности. Кропотливая работа в качестве участника международной рабочей группы по разработке стандарта ISO 26262, а также партнёрские отношения с опытными специалистами в области функциональной безопасности усилили и отточили опыт TI в сфере функциональной безопасности, обеспечив ей лучшие в своём классе возможности разработки аппаратного и программного обеспечения.

Платформа микроконтроллеров Hercules™ является результатом долгой истории разработки и поставки TI микроконтроллеров для систем с особыми требованиями к обеспечению безопасности, которая предоставляет широкий выбор устройств, специально рассчитанных на вы-

<p>RM4x Высокая производительность</p>	<p>Rm4x • 2*R4F LS • 3 Мбайт, 256 кбайт • 220 МГц</p> <p>Rm4x • 2 Мбайт, 192 кбайт</p> <p>IEC ETHERNET</p>	<p>Безопасное управление электродвигателями</p> <p>Промышленная автоматизация</p> <p>Безопасное подключение</p> <p>Медицинское оборудование</p>
<p>TMS570 Транспорт</p> <p>TMS570 • 2*R4F LS • 2 Мбайт, 160 кбайт • 160 МГц</p> <p>TMS570 • 1 Мбайт, 160 кбайт</p> <p>IEC FlexRay™</p>	<p>TMS570 • 2*R4F LS • 3 Мбайт, 256 кбайт • 180 МГц</p> <p>TMS570 • 2 Мбайт, 192 кбайт</p> <p>ISO ETHERNET FlexRay™</p>	<p>Системы стабилизации</p> <p>Системы рулевого управления с усилением</p> <p>Электросистемы транспортных средств</p>
<p>TMS470M Стоимость</p> <p>TMS470M • ARM Cortex™-M3 • 640 кбайт, 48 кбайт • 80 МГц</p> <p>TMS470M • 448 кбайт, 24 кбайт</p> <p>TMS470M • 320 кбайт, 16 кбайт</p>		<p>Антиблокировочные тормозные системы (ABS)</p> <p>Системы рулевого управления с усилением</p> <p>Системы пассивного обеспечения безопасности</p>

Производство
Образцы
Разработка

ЦПУ с пошаговым контролем выполнения программы

 Поддержка класса надёжности SIL-3 согласно IEC 61508

 Поддержка класса надёжности ASIL-D согласно ISO 26262

Рисунок 1. Платформа Hercules™ включает в себя три семейства микроконтроллеров для решения задач, предъявляющих особые требования к обеспечению безопасности, которые реализуют сбалансированные соотношения производительности, объёма памяти, набора периферийных устройств, возможностей подключения, стоимости и расширения для применения в промышленности, медицине и на транспорте – там, где обеспечение безопасности имеет первостепенное значение

полнение требований медицинских, промышленных и транспортных приложений, предъявляющих особые требования к обеспечению безопасности. Разумное применение ключевых технологий обеспечения функциональной безопасности и передового опыта в технике полупроводников позволило создать платформу микроконтроллеров, которая упрощает проектирование системы, предъявляющей особые требования к обеспечению безопасности, уменьшает объём служебного программного обеспечения и ускоряет сертификацию, что в совокупности даёт меньшую стоимость системы и сокращает время вывода новых систем на рынок.

Платформа Hercules™ включает в себя три семейства расширяемых микроконтроллеров для решения задач обеспечения функциональной безопасности (рисунок 1), которые реализуют сбалансированные соотношения производительности, объёма памяти, возможностей обеспече-

ния функциональной безопасности, периферийных устройств, возможностей подключения и стоимости.

Микроконтроллеры Hercules RM4x

Рассчитанные на обеспечение самых высоких уровней производительности и безопасности для устройств промышленной автоматизации, медицинских приборов, сервоприводов и сетевых приложений, представители семейства микроконтроллеров RM4x имеют два ядра ЦПУ ARM® Cortex™-R4 с возможностью выполнения операций с плавающей точкой, работающих параллельно и обеспечивающих работу с частотой до 220 МГц при объёме flash-памяти 3 Мбайт и ОЗУ 256 кбайт. Микроконтроллеры RM4x разработаны в соответствии со 2-ой редакцией стандарта IEC 61508 и соответствуют классу надёжности SIL-3. Эти микроконтроллеры обладают расширенными возможностями подключения,

включая возможность подключения устройств Ethernet, CAN и USB.

Микроконтроллеры Hercules TMS570

Рассчитанные на выполнение требований к производительности и безопасности, предъявляемых на транспорте – на железных дорогах, в аэрокосмических и автомобильных системах, – микроконтроллеры TMS570 имеют два ядра ЦПУ ARM Cortex-R4 с возможностью выполнения операций с плавающей точкой, работающих параллельно, с частотой до 180 МГц при объёме flash-памяти 3 Мбайт и ОЗУ 256 кбайт. Эти микроконтроллеры обеспечивают возможность подключения к устройствам Ethernet, CAN и FlexRay™, которые обычно требуются для приложений, применяемых на транспорте. Существующие 130-нм микроконтроллеры TMS570 разработаны в соответствии с 1-ой редакцией стандарта IEC 61508 и имеют класс

надёжности SIL-3, а новые, 65-нм микроконтроллеры TMS570 разработаны в соответствии со стандартом ISO 26262 и имеют класс надёжности ASIL-D. Все микроконтроллеры TMS570 аттестованы AEC-Q100 для использования в автомобилестроении.

Микроконтроллеры Hercules TMS470M

Расчитанные на экономичную реализацию функций обеспечения безопасности для приложений, требующих меньшей производительности, представители семейства TMS470M имеют в своей основе ядро ЦПУ ARM® Cortex™-M3, работающее с частотой до 80 МГц, при объёме flash-памяти до 640 кбайт и ОЗУ 48 кбайт. Микроконтроллеры TMS470M также аттестованы AEC-Q100 для использования в автомобилестроении и поддерживают сети LIN и CAN.

Решение проблемы функциональной безопасности: систематические и случайные ошибки

Современный подход к обеспечению функциональной безопасности обычно признаёт две категории ошибок: систематические и случайные. Эти ошибки становятся отказами, когда приводят к утрате функции обеспечения безопасности или нарушают выполнение одной из задач по обеспечению безопасности. Систематические ошибки часто возникают вследствие ошибок, допущенных в процессе разработки, изготовления или эксплуатации. К примерам причин систематических ошибок относятся пропуск проверки проектных функциональных возможностей, невыполнение испытаний в ходе изготовления или эксплуатации изделия с параметрами, выходящими за пределы гарантированного диапазона. Ошибки в программном обеспечении также считаются систематическими, так как программное обеспечение является в полной мере определённой составляющей системы и, хотя это и может вызвать некоторые трудности, его правильность может быть формально подтвержде-

на до внедрения изделия. Контроль систематических ошибок достигается путём применения разумных технологий, которые включают в себя проверки и применение принципа взаимозависимости всех работ при разработке.

Стандарты функциональной безопасности, такие как IEC 61508 и ISO 26262, служат основой для контроля систематических ошибок. Процесс разработки, который осуществляется в соответствии с руководящими указаниями такого стандарта, может смягчить последствия большей части систематических ошибок. Инженеры по качеству сразу же заметят, что передовые методики этих стандартов во многом повторяют традиционные стандарты управления качеством. Применение признанного процесса управления качеством, такого как ISO/TS 16949 или AEC-Q100, часто рассматривается как необходимый минимум для того, чтобы начать разработку изделия, отвечающего требованиям функциональной безопасности. Процесс разработки, используемый при создании микроконтроллеров Hercules для решения задач обеспечения безопасности, прошёл оценку на соответствие требованиям стандартов качества ISO/TS 16949, ISO 9001 и AEC-Q100, помимо его ориентированности на выполнение требований стандартов IEC 61508 и ISO 26262.

Одни только меры по обеспечению качества и надёжности не могут гарантировать функциональную безопасность; необходимо также рассмотреть меры по контролю случайных ошибок. Случайные ошибки — это те, что присущи тому или иному приложению, варианту использования или среде эксплуатации при использовании изделия в рамках проектных параметров. Как правило, мы не в состоянии уменьшить интенсивность случайных ошибок, присущую данному варианту использования изделия, поэтому мы сосредоточимся на использовании механизмов обеспечения безопасности, направленных на обнаружение и контроль случайных ошибок. К примерам случайных ошибок относятся перманентная неисправность аппаратуры, временное повреждение данных в ОЗУ вследствие ошибки ПО или за-

мыкания соседних сигнальных линий у микроконтроллера.

Контроль случайных ошибок требует реализации механизмов обеспечения безопасности, которые способны обнаруживать ошибки в соответствующем приложении. Вообще, механизмы для обеспечения функциональной безопасности должны обнаруживать ошибки в ходе штатной эксплуатации, действуя в рамках контура управления контролируемой системы. Это заставляет отдавать предпочтение применению периодически исполняемых или постоянно работающих программ диагностики, а не тех, которые исполняются только при пуске или останове системы. Поскольку частоты тактирования контура управления становятся выше, в области механизмов обеспечения безопасности будет наблюдаться тенденция к внедрению параллельной диагностики. Например, система с тактированием контура управления 100 мс обычно использует более последовательную, периодическую диагностику, чем система с таким контуром управления 100 мкс, которая, вероятнее всего, потребует параллельной и постоянно работающей диагностики. Наличие диагностики безопасности в аппаратном обеспечении позволяет платформе микроконтроллеров Hercules поддерживать проверки безопасности в контурах управления с очень высокой тактовой частотой, так как эти проверки можно осуществлять параллельно.

При реализации механизмов обеспечения безопасности разработчик должен рассмотреть возможность того, что функциональная логика и её механизм обеспечения безопасности не смогут обнаружить неисправности, вызванные ошибками в совместно используемых сигналах. Это явление известно как «отказ по общей причине». Отказ по общей причине часто учитывается при реализации диагностики с функциональным дублированием, но его следует принимать во внимание при всех видах диагностики. Хотя может быть трудно, если вообще возможно, количественно оценить вероятность отказа по общей причине, имеются передовые методики, которые можно применить для того, чтобы снизить вероятность отказа по общей причине.

В микроконтроллерах Hercules для решения задач обеспечения безопасности применены многие передовые подходы для решения проблемы отказов по общей причине, которые описаны в этой статье.

Концепция архитектуры «островок безопасности»

В микроконтроллерах Hercules RM4x и TMS570 используется одна и та же концепция архитектуры безопасности, которая называется подходом «островок безопасности». Эта базовая концепция предполагает баланс между применением аппаратной и программной диагностики для контроля функциональной безопасности при учёте соображений стоимости изделий. При реализации подхода «островок безопасности» для ряда ключевых элементов выделяются непрерывно работающие аппаратно реализованные механизмы обеспечения безопасности. Этот набор ключевых элементов, включающий в себя устройства питания/тактирования/сброса, ЦПУ, flash-память, ОЗУ и соответствующие цепи взаимосвязи, необходим, чтобы гарантировать любое функционально правильное исполнение программ. Если у нас есть уверенность в том, что эти элементы работают правильно, мы можем использовать программное обеспечение, исполняемое на этих элементах, для обеспечения программно-реализованной диагностики других элементов, таких как периферийные устройства. Эта концепция подтвердила свою жизнеспособность на многих поколениях изделий, предъявляющих особые требования к обеспечению безопасности, которые применяются в области обеспечения безопасности пассажиров автотранспорта.

Защита устройств питания, тактирования и сброса

Любая всеобъемлющая архитектура обеспечения безопасности должна базироваться на прочном основании. Чтобы обеспечить надлежащую работу цифровой логи-

ки, требуется функционирование устройств, формирующих питание, тактовые сигналы и сигналы сброса. Микроконтроллеры Hercules имеют несколько уровней аппаратно реализованной диагностики безопасности для обнаружения отказов этих цепей, а также добавочные блоки, позволяющие внешним устройствам обеспечить дополнительные уровни диагностики с уменьшенной вероятностью отказа по общей причине.

В случае большинства микроконтроллеров Hercules питание регулируется внешне и подаётся на ядро и схемы ввода/вывода. Реализованное на кристалле устройство контроля напряжения служит, главным образом, для упрощения управления последовательностью включения питания, но оно также может обеспечивать вторичную диагностику по питанию. Устройство контроля напряжения обнаружит выходящее за рамки диапазона напряжение питания ядра ЦПУ или схемы ввода/вывода и переведёт устройство в состояние сброса, когда неисправность будет обнаружена. Первичную диагностику по питанию рекомендуется реализовывать не на кристалле для повышения точности и снижения вероятности отказа по общей причине.

Микроконтроллеры Hercules имеют несколько средств диагностики для обнаружения отказа подсистемы тактирования. Отказ входного тактового сигнала может быть обнаружен с помощью диагностики тактового сигнала, которая использует мало-мощный генератор, реализованный на кристалле (LPO), в качестве эталона тактовых сигналов, что не требует внешних элементов. В случае отказа входного тактового сигнала устройство может вернуться к работе с использованием LPO в качестве первичного источника тактового сигнала. Внутренние тактовые сигналы также могут выводиться для контроля с помощью внешней логики.

Помимо контроля тактовых сигналов, возможно также обнаружение ухода частоты и пропуска тактовых импульсов. Диагностика DCC (dual clock compare — двойное сравнение тактовых сигналов) позволяет сравнивать тактовый сигнал, генерируемый на кристалле, с выбранным эталонным тактовым сигналом. Если ло-

гика работает надлежащим образом, результатом сравнения этих двух тактовых сигналов будет определённое фиксированное соотношение; если нет, соотношение будет отличаться от ожидаемого и появится сигнал ошибки. Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ), которая используется для формирования высокочастотного тактового сигнала системы на основании входного низкочастотного тактового сигнала, обладает способностью обнаруживать сбой тактов.

Ошибки в формируемых и распространяемых тактовых сигналах также необходимо учитывать, и их можно диагностировать с помощью оконного сторожевого таймера. В отличие от большинства сторожевых таймеров, имеющихся на рынке, оконный таймер требует, чтобы реакция ЦПУ была в пределах заданного временного окна. Это указывает не только на то, что ЦПУ остаётся в работоспособном состоянии, но и на то, что ЦПУ работает с правильной временной базой. В обычных сторожевых таймерах, если счётчик не сбрасывается вовремя, можно предположить, что система находится в неисправном состоянии. Однако возможна ситуация, когда система перейдет в такое состояние, при котором контрольный таймер сбросится несколько раз, прежде чем пороговый счётчик дойдёт до конца счёта, что не даст возможности обнаружить неисправное состояние. Сторожевой таймер с окном преодолевает этот недостаток за счёт того, что требует, чтобы сброс таймера осуществлялся в пределах заданного временного окна.

Защита микроконтроллера

Ядро ЦПУ микроконтроллера — одна из наиболее сложных частей логики в микроконтроллере, которая участвует практически во всех операциях, выполняемых на кристалле. Вследствие этого ЦПУ является естественным претендентом на то, чтобы к нему был применён механизм обеспечения безопасности с жёстким контролем работы ядер. Схема параллельных ЦПУ подразумевает наличие контрольного ЦПУ, которое аппаратно реализовано таким образом, что получает такие же входные данные,

что и функциональное ЦПУ. Два блока с одной и той же логикой, получающие одни и те же входные данные, теоретически должны выдавать на выход одно и то же. Модуль сравнения контролирует выходы двух ядер ЦПУ на пошаговой основе и сигнализирует о любых ошибках в системе. Это почти мгновенное обнаружение ошибок в микроконтроллерах Hercules обеспечивается за счёт небольшого увеличения энергопотребления и не оказывает влияния на производительность ЦПУ. Кроме того, по сравнению с другими элементами микроконтроллера, размер служебного ПО для реализации механизма жёсткого запараллеливания минимален.

Всегда, когда логика дублируется, существует опасение относительно отказов по общей причине. Для борьбы с отказами по общей причине Texas Instruments внедрила несколько передовых методик в подсистеме параллельных ЦПУ. Реализовано разнесение двух ядер ЦПУ по времени, так что ядра ЦПУ

работают не в фазе, а с отличием в 1,5 или 2 такта, для того чтобы уменьшить отказы по общей причине, связанные с тактированием. Вокруг ядер ЦПУ реализовано защитное кольцо напряжения. Кристалл контрольного ЦПУ физически расположен зеркально и развёрнут относительно функционального ЦПУ. В результате получена система, которая на сегодня не имеет случаев отказов по общей причине, о которых было бы известно или которые были бы задокументированы.

При всей эффективности, которая присуща схеме жёстко запараллеленных ЦПУ, она не может обнаруживать отказов в цепях, пока они не используются. Поэтому Texas Instruments реализовала ещё один уровень диагностики микроконтроллера — диагностику LBIST (logic built-in self-test — встроенная самопроверка логики). LBIST обеспечивает очень широкий охват диагностикой ЦПУ на уровне транзисторов, используя такие же структуры проектирования с учё-

том требований к проверке (design for test — DFT), какие используются для тестирования кристаллов при изготовлении. Диагностика LBIST может запускаться программно при пуске, останове или в течение небольших интервалов проверки во время работы. LBIST требует намного меньше времени для исполнения, чем сравнимые программные решения, сокращая при этом объём памяти, требующийся для хранения программы диагностики. Технология LBIST платформы Hercules уникальна в том смысле, что проверки аппаратного обеспечения могут осуществляться пакетом при включении питания или в ходе периодических интервалов проверки во время штатной работы.

В сочетании с другими встроенными функциями обеспечения безопасности архитектуры Hercules аппаратно реализованная BIST-диагностика обеспечивает сокращение объёма служебного ПО, связанного с диагностикой безопасности, до 30% (рисунок 2). Это сокращение служебного ПО обычно используется для реализации передовых функциональных возможностей, чтобы придать своим разработкам дополнительные отличительные черты.

Защита памяти ЦПУ

Концепция «островок безопасности» подразумевает использование аппаратно реализованных механизмов обеспечения безопасности для внутренней flash-памяти и статического ОЗУ. Обычно flash-память используется в системе в качестве запоминающего устройства хранения команд ЦПУ, а статическое ОЗУ обеспечивает хранение данных. Оба запоминающих устройства и связь между ними и ЦПУ должны функционировать надлежащим образом, чтобы гарантировать правильную работу программного обеспечения. Первичная динамическая диагностика для статического ОЗУ и flash-памяти представляет собой логику ECC (error correcting code — код обнаружения и коррекции ошибок) для данных, дополненных адресом и контролем чётности.

Технология ECC — это общепринятый и эффективный способ обнаружения случайных ошибок.

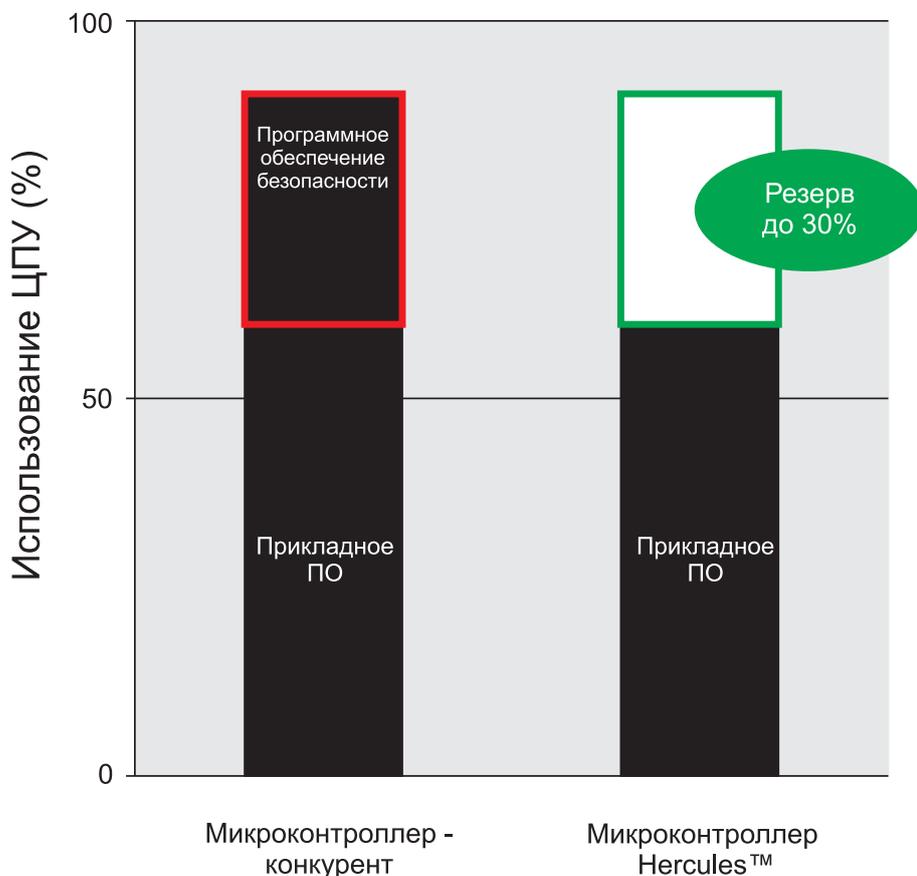


Рисунок 2. Встраивая функции обеспечения безопасности в аппаратное обеспечение, архитектура Hercules™ даёт сокращение объёма служебного программного обеспечения, связанного с диагностикой безопасности, до 30%, оставляя дополнительный запас для реализации передовых функциональных возможностей, которые отличают разработки от изделий конкурентов

ЕСС кодирует данные таким способом, который позволяет системе не только обнаруживать повреждение данных в памяти, но и исправлять одиночные битовые ошибки, если это требуется, так что система может продолжать работу без прерывания.

Традиционно ЕСС-контроллер встраивается в сам блок памяти. При считывании памяти данные извлекаются из неё и ЕСС-контроллер подтверждает, что память не была повреждена. После этого данные отправляются по шине памяти в ЦПУ для работы с ними. Один из недостатков такого подхода заключается в том, что данные уязвимы, пока они передаются по шине памяти; если в результате случайной ошибки происходит изменение данных во время их передачи в том или ином направлении, ЦПУ этого не заметит. Другое ограничение заключается в том, что каждая подсистема памяти должна иметь свой собственный ЕСС-контроллер.

TI решает эти проблемы путём переноса ЕСС-контроллера в ЦПУ. При

записи в память данные кодируются до того, как попадают на шину памяти. При считывании целостность данных проверяется после того, как ЦПУ извлекает их из памяти. Таким образом, целостность данных проверяется в течение всего времени, пока они не находятся на хранении; все случайные ошибки, которые произошли, пока данные находились на шине памяти или в памяти, будут обнаружены. Благодаря тесной связи логики управления ЕСС в ЦПУ, служебной памяти для этого механизма обеспечения безопасности не требуется (то есть нулевое влияние на производительность ЦПУ или латентность).

ЕСС-контроллер Hercules также предоставляет разработчикам широкие возможности управления уровнем реагирования на одиночные битовые ошибки в памяти. В то время как в течение срока службы изделия можно ожидать появления определённого количества одиночных битовых ошибок, может возникнуть такая ситуация, когда система, где регуляр-

но происходят одиночные битовые ошибки, подвергается высокому риску неустраняемого отказа системы в будущем. Чтобы обнаружить такое состояние, разработчики имеют возможность регистрации одиночных битовых ошибок и установки порога включения сигнала предупреждения на уровне системы, если произошло критическое количество ошибок.

Подобно ЦПУ, механизм BIST в течение начальной загрузки используется для проведения дополнительной проверки помимо той, что осуществляется в ходе работы. Фирменная технология PBIST (programmable memory BIST – встроенная самопроверка памяти) TI обеспечивает очень большую зону охвата диагностикой на уровне транзисторов во всех статических ОЗУ в устройстве, включая те, что реализованы в периферийных подсистемах. PBIST обычно выполняется при пуске или останове потому, что эти проверки по своей природе таковы, что разрушают содержимое памяти.

Функции обеспечения безопасности микроконтроллеров Hercules™ обнаруживают случайные отказы

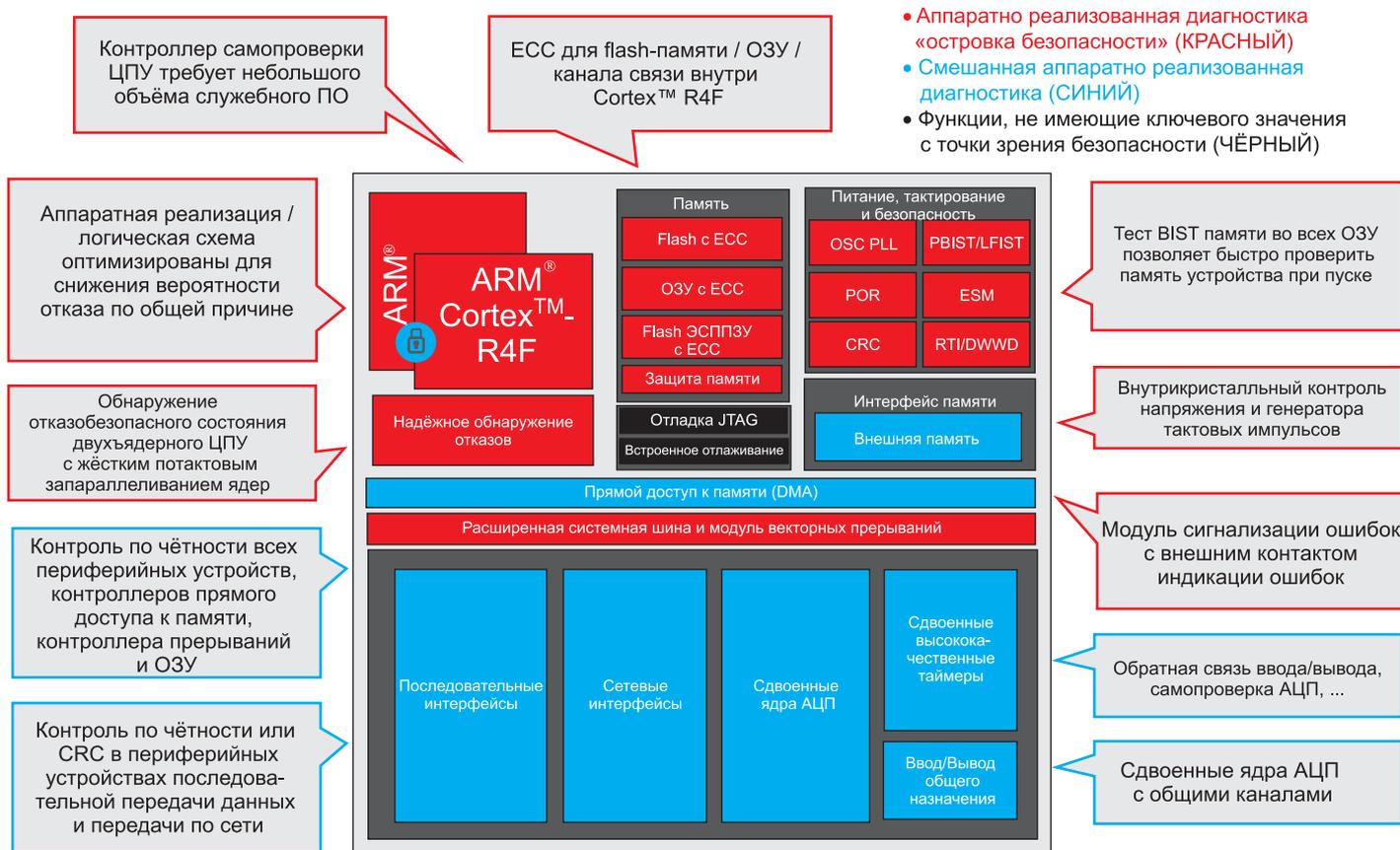


Рисунок 3. Архитектура надёжного микроконтроллера Hercules™ реализует аппаратные функции обеспечения безопасности для создания «островка безопасности», с помощью которого могут быть определены ошибки во всей остальной системе

Защита периферийных устройств

Механизмы обеспечения надёжности в микроконтроллерах Hercules не ограничиваются логикой «островка безопасности». Имеются аппаратно реализованные механизмы обеспечения безопасности для периферийных устройств, служащие для контроля случайных ошибок, которые нелегко выявить с помощью программного обеспечения. Примерами являются контроль чётности ОЗУ периферийных устройств для проверки целостности данных, возможности обратной связи по вводу/выводу для проверки трактов ввода/вывода от периферийных устройств непосредственно к контактам ввода/вывода, PBIST периферийных запоминающих устройств, блоки защиты памяти во всех устройствах управления шинами и ограничение управления для важных регистров конфигурации на основе уровня привилегии ЦПУ. Кроме того, микроконтроллеры Hercules обладают богатым набором периферийных устройств, включая несколько экземпляров различных устройств, таких как аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и модули высокочастотных таймеров. Это позволяет заказчикам реализовывать несколько каналов ввода или вывода, в зависимости от приложения.

Управление реакцией на ошибки

В случае если возникает ошибка в каком-либо элементе микроконтроллера, происходит системное событие, включение которого осуществляется модулем сигнализации об ошибках (ESM) микроконтроллера. Этот модуль обеспечивает программируемую реакцию на ошибку на основании серьёзности ошибки. Реакция может выражаться в формировании прерывания ЦПУ, немаскируемого прерывания ЦПУ и/или появления сигнала на выводе ошибки. Сигнал на выводе ошибки позволяет известить внешнего наблюдателя о том, что микроконтроллер находится в неисправном состоянии. Внешний наблюдатель затем может принять необходимые меры к смяг-

чению последствий отказа на уровне системы, а критически важные ошибки, зарегистрированные в модуле ESM, останутся таковыми после проведения сброса без отключения питания устройства, обеспечивая возможность диагностики с помощью ЦПУ после сброса.

Архивирование данных о работе устройств

В некоторых приложениях желательно регистрировать события, происходящие в микроконтроллере, для анализа ошибок в дальнейшем, подобно «чёрным ящикам», применяемым в авиации. Устройства Hercules поддерживают специализированное отслеживание исполнения кода и данных без вмешательства в работу устройства. Сигналы с выходов этих интерфейсов отслеживания могут быть приняты внешними устройствами контроля для регистрации событий на уровне системы. Кроме того, многие микроконтроллеры Hercules имеют в своем составе эмулируемое ЭСППЗУ, которое можно перепрограммировать в составе системы для регистрации важных ошибок с целью анализа в будущем. Если в системе возникает отказ, разработчики будут иметь доступ к данным о том, что приложение делало перед тем, как этот отказ возник.

Ускорение разработки и сертификации

Платформа разработки Hercules обеспечивает получение подробной информации о функциональной безопасности, необходимой для поддержки сертификации системы заказчика на соответствие требованиям стандартов функциональной безопасности. TI предоставляет исчерпывающее руководство по функциональной безопасности и отчёт по анализу безопасности в соответствии либо со 2-ой редакцией стандарта IEC 61508, либо со стандартом ISO 26262.

В дополнение к материалам, облегчающим сертификацию, TI предоставляет все инструменты для разработки, утилиты, документацию, комплект для разработки ПО и под-

держку, которые требуются для осуществления проектирования быстро и с учётом требований к безопасности, включая следующее:

Комплекты для разработки Hercules (HDK). TI предлагает недорогой оценочный комплект на основе USB, а также плату для разработки для каждого из семейств микроконтроллеров Hercules.

Операционная система реального времени (RTOS). Несколько компаний-партнёров TI в области операционных систем перенесли свои RTOS-системы на платформу Hercules, чтобы обеспечить надёжную реализацию многозадачности и контролировать предельные времена исполнения операций системы реального времени.

Интегрированная среда разработки (IDE). Платформа Hercules поддерживается несколькими ведущими IDE партнёров — разработчиков инструментария ARM, а также пакетом Code Composer Studio™, который бесплатно включается в каждый комплект разработки Hercules.

HALCoGen. Этот инструмент на основе графического пользовательского интерфейса позволяет создавать драйверы низкого уровня для всех периферийных устройств микроконтроллеров. Помимо упрощения конфигурирования периферийных устройств, HALCoGen обеспечивает создание драйверов, которые оптимизированы как с точки зрения производительности, так и с точки зрения места, занимаемого во flash-памяти.

nowECC. Этот инструмент автоматически формирует значения ECC для таблиц кода и данных.

nowFlash. Этот инструмент обеспечивает как графический пользовательский интерфейс, так и интерфейс командной строки для программирования flash-памяти микроконтроллеров Hercules.

Утилита расчёта фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Модуль ФАПЧ, встроенный в архитектуру Hercules, — это мощный модуль, но он может оказаться сложным для программирования. Эта утилита упрощает конфигурирование модуля ФАПЧ, позволяя разработчикам задавать частоты, которые им нужны, а затем рассчитывать соответствующие значения ФАПЧ.

Интегрированная среда разработки для таймера. Эта утилита на основе графического пользовательского интерфейса упрощает программирование модуля таймера, который используется для выполнения различных функций, связанных со временем, включая формирование ШИМ-сигналов, измерение частоты/импульсов и т. д. Инструмент включает в себя симулятор, а также средства для отображения сигналов, чтобы помочь разработчикам быстро задавать сложные сигналы.

Сеть разработчиков приложений, связанных с обеспечением безопасности

Многие партнёры TI также имеют опыт разработки приложений,

предъявляющих особые требования к обеспечению безопасности, и понимают специфику требований к разработкам такого рода. Имеются ресурсы, позволяющие осуществлять проектирование с учётом требований безопасности, оценивать архитектуры систем, осуществлять оценку безопасности систем, помогающие аттестовать имеющуюся базу кода и предоставляющие, помимо прочего, программное обеспечение, сертифицированное для решения задач обеспечения безопасности. Разработчики могут найти поддержку в обширной сети разработчиков TI, а также получить круглосуточную поддержку в сообществе E2E корпорации Texas Instruments.

Платформа микроконтроллеров Hercules для решения задач обеспечения безопасности с семействами RM4x, TMS570 и TMS470M

предоставляет разработчикам возможность находить наиболее подходящий процессор для их изделий со многими вариантами параметров производительности, flash-памяти и ОЗУ, возможностями подключения и функциями обеспечения безопасности. Микроконтроллер Hercules на основе ЦПУ ARM® Cortex™, с его аппаратно реализованными функциями обеспечения надёжности, исчерпывающим руководством по функциональной безопасности и отчётом по её анализу, предоставляет разработчикам все ключевые составляющие микроконтроллера, которые им нужны для того, чтобы создавать и сертифицировать приложения, предъявляющие особые требования к обеспечению безопасности. Начать работу с простым, недорогим комплектом разработки Hercules можно уже сегодня.

НОВОСТИ

Новые процессоры TMS320C665x — идеальная комбинация производительности и малой потребляемой мощности

TI представила три новых процессора, построенных на многоядерной архитектуре KeyStone, использующейся в поколении цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) TMS320C66x. Новые ЦСП от TI TMS320C665x комбинируют возможности операций с плавающей и фиксированной точкой, предлагая высокую производительность в реальном времени при низком энергопотреблении и небольшом корпусе (21×21 мм.) Использование новых многоядерных ЦСП TMS320C6654, TMS320C6655 и TMS320C6657 даёт разработчикам возможность разрабатывать изделия, соответствующие насущным требованиям высокой производительности в переносных приложениях на рынке промышленной автоматизации, испытательных приборов, технического зрения, видеонаблюдения, в медицине, аудио- и видеоинфраструктуре. Процессор C6657 содержит два 1,25 ГГц ЦСП ядра, предлагая быстрое действие до 80 GMAC и 40 GFLOP, в то время как C6655 и C6654 одноядерные процессоры предлагают 40 GMAC и 20 GFLOP и 27,2 GMAC и 13,6 GFLOP соответственно. В нормальном режиме работы процессоры C6657, C6655 и C6654 потребляют 3,5, 2,5 и 2 Вт соответственно. Следует отметить, что ЦСП TI C665x

содержат большой объём памяти на кристалле, эффективный контроллер внешней памяти с широкой пропускной способностью. Новые ЦСП поддерживают расширенный температурный диапазон от -55 до 100 °C для приложений, рассчитанных на работу в экстремальных условиях или где требуется большой ресурс работы. Эта характеристика делает ЦСП C665x идеальным решением для ответственных применений, приложений технического зрения, видеонаблюдения и аналитике, везде, где требуется высокая степень надёжности. Дополнительно ЦСП C665x предоставляют большую производительность и широкие возможности по подключению, обеспечивающие перспективные технические требования в приложениях обработки изображений, включающие широкую пропускающую способность последовательных интерфейсов, таких как RapidIO, PCIe, гигабитный этернет и возможность расширить процесс вычислений на объединение ЦСП. Оптимизированный набор периферии, включающий универсальный параллельный порт (UPP) и многоканальный буферизированный последовательный порт (McBSP), в процессорах C665x уменьшает стоимость системы и габариты, а также упрощает переход от предыдущих разрабо-

ток с минимальными переработками печатных плат. TI предлагает простые в использовании, недорогие отладочные модули. Разработчики могут быстро начать работу с процессорами C6654, C6655 и C6657. Обе отладочные платы включают бесплатный набор разработчика ПО для многоядерных процессоров (MCSDK), мощную интегрированную среду разработчика Code Composer Studio™, а также большой набор приложений и примеров кода, позволяющие программистам быстро освоить новую платформу. Дополнительно отладочный комплект TI TMDSEVM6657L включает встроенный эмулятор XDS100, в то время как TMDSEVM6657LE включает более скоростной эмулятор XDS560V2 для быстрой загрузки программ и простоты использования. Кроме того, ЦСП C665x совместимы по коду с поколением ЦСП TI TMS320C64x и всеми многоядерными процессорами архитектуры KeyStone, обеспечивая тем самым, что предыдущие капиталовложения в ЦСП TI могут быть запросто использованы вновь. Эта гибкость даёт возможность простой разработки широкой номенклатуры высокопроизводительных продуктов различного уровня.

www.ti.com

Роберт Джания (Robert Jania)

Реализация аналогово-цифровой системы и пользовательского интерфейса в одной микросхеме

Как было бы здорово, если бы не нужны были отдельные микросхемы для реализации различных функций разрабатываемой системы! Если бы одна микросхема могла управлять работой всей системы, обеспечивать взаимодействие с пользователем и вести обработку, необходимую для решения прикладной задачи? Это не обязательно должно оставаться мечтой и возможно уже сегодня. Рассмотрим конкретный пример – индукционную плиту, где регулятор нагрева, емкостный сенсорный пользовательский интерфейс и пользовательский индикатор реализованы с помощью одной микросхемы.

В небольших бытовых приборах, таких как СВЧ-печи, кофеварки, пароварки и индукционные плиты, наблюдается растущий спрос на емкостные сенсорные органы управления. Такие органы управления, обычно представляющие собой кнопки или слайдеры, могут выделить изделие среди другой аналогичной продукции и даже могут помочь изготовителю продать его по более высокой цене, позволяя повысить прибыль. Обычно в таких системах имеется два микроконтроллера: один для управления выполнением задачи (нагревом плиты), а другой для емкостных сенсорных кнопок или слайдеров. С помощью устройства PSoC® (программируемая система на кристалле) компании Cypress эти две функции можно реализовать в однокристалльном решении.

Для начала рассмотрим поподробнее, как на самом деле работает индукционная плита (рисунок 1). Индукционная плита – это современ-

ная электрическая кухонная плита, в которой для нагревания посуды используются принципы электромагнитной индукции. Индукционная плита имеет керамическую панель, на которой и готовят пищу. Подключаемая к электросети катушка под этой панелью создаёт переменный ток, который создаёт магнитное поле, разогревающее посуду, где готовится пища (кастрюлю из железа или нержавеющей стали). Внутри посуды это магнитное поле наводит электрический ток, который и создаёт тепло.

Рассматривая глубже принципы работы плиты, мы видим, что переменный ток преобразуется в постоянный ток выпрямителем. Затем постоянный ток преобразуется в переменный ток ультразвуковой высокой частоты с помощью высокочастотного устройства преобразования электрической мощности. При подаче этого высокочастотного переменного

тока на плоскую полую спиральную нагревательную катушку создаётся высокочастотное переменное магнитное поле. Магнитное поле проникает через панель и наводит ток в днище кастрюли. Таким образом электрическая энергия преобразуется в тепловую, преодолевая внутреннее сопротивление протеканию токов. Создаваемое Джоулево тепло и есть то тепло, за счёт которого готовится пища.

Основные органы управления индукционной плиты включают в себя:

- Автоматическую самозащиту на биполярном транзисторе с изолированным затвором (БИТЗ): БИТЗ – это ключевой элемент внутри индукционной плиты. Он работает под высоким напряжением и при высокой мощности. Но это дорогостоящий элемент, и он имеет жёсткие требования к параметрам. Его могут разрушить чрезмерно высокое

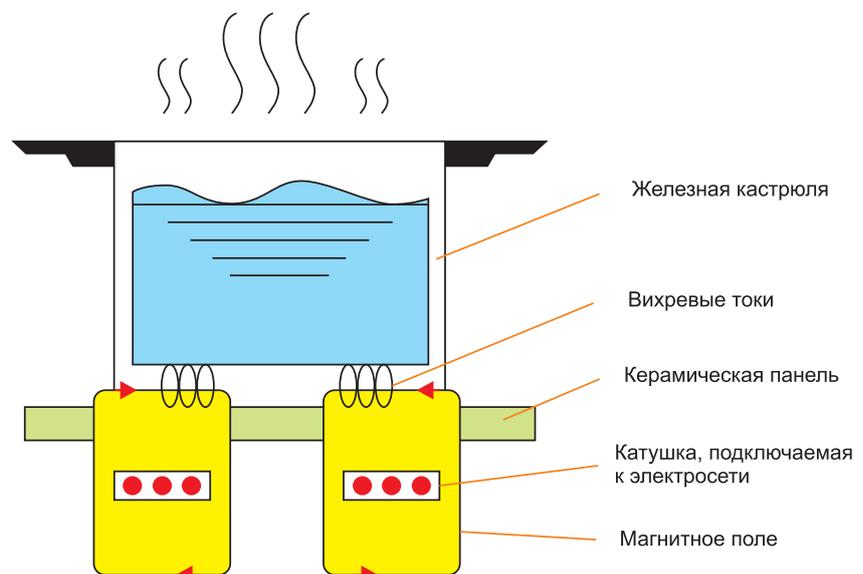


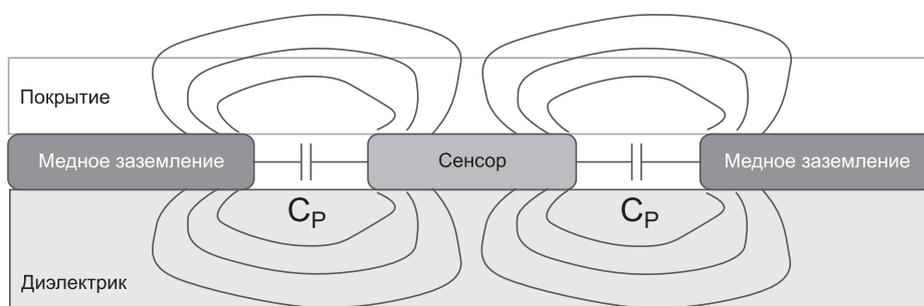
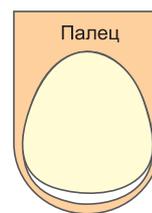
Рисунок 1. Индукционная плита

напряжение, быстро нарастающий ток или слишком большая температура. Его можно повредить, даже если на панели не окажется кастрюли при включённой плите. Необходимо, чтобы конструкция системы предусматривала защиту БТИЗ.

- Регулирование температуры: тепло от кастрюли может передаваться в керамическую панель. Поскольку панель выполнена из теплопроводящего материала, на днище панели устанавливаются тепловые датчики, чтобы определять температуру днища кастрюли.
- Регулирование мощности: необходимо автоматически регулировать выходную мощность индукционной плиты, чтобы компенсировать все изменения подачи питания и нагрузки.
- Управление пользовательским интерфейсом: плита должна быть способна воспринимать команды пользователя, которые он подаёт с помощью емкостных сенсорных кнопок или слайдеров, а затем выводить на индикацию соответствующую информацию для пользователя с помощью индикаторной панели на основе светодиодов.

В данном примере одно устройство PSoC 3 может обрабатывать команды с емкостных сенсорных кнопок (с помощью технологии CapSense™ устройств PSoC). Оно также отвечает за управление всей системой, включая измерение токов, напряжений и температуры, формирование ШИМ-сигналов для управления полевыми МОП-транзисторами, управление мощностью индукционной плиты и индикацию параметров системы для пользователя.

Многое из этого уже могло быть реализовано в одном микроконтроллере. По-настоящему уникальной здесь является способность устройства PSoC реализовать также и функции емкостных сенсорных органов управления. Емкостные сенсорные органы управления – это разновидность сенсорных органов управления, представляющая собой альтернативу традиционным механическим кнопкам и слайдерам.



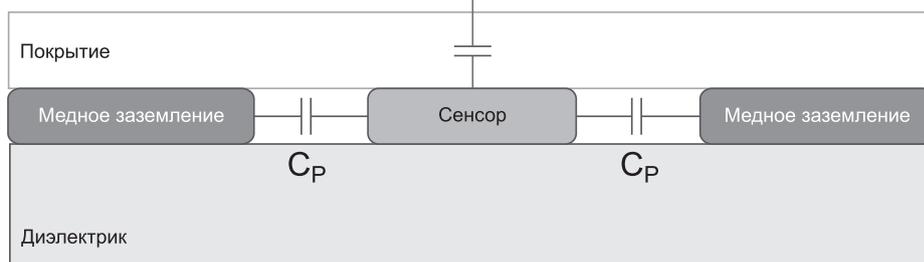
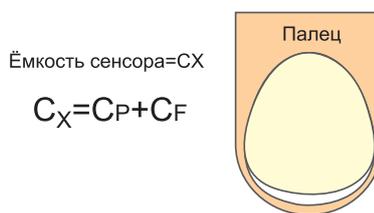
* Схема выполнена не в масштабе

Рисунок 2. Вид емкостного сенсора в разрезе

Вместо того чтобы определять положение кнопки, емкостные сенсоры определяют наличие или отсутствие проводящего объекта, например, человеческого пальца. Основой для всех решений на основе емкостных сенсоров являются группы проводников, которые взаимодействуют с окружающими их электрическими полями. Человеческое тело само по себе наполнено токопроводящими электролитами в оболочке из слабого диэлектрика – человеческой кожи. Тот факт, что наши тела, а точнее, наши пальцы проводят электрический ток, и является тем, что позволяет применять емкостные

сенсоры в пользовательских интерфейсах.

На рисунке 2 показано поперечное сечение одиночной емкостной сенсорной кнопки. Под материалом покрытия, например стеклом, находятся токопроводящие медные слои (обычно подключаются к земле) и токопроводящие сенсоры. Всякий раз, когда два токопроводящих элемента находятся в непосредственной близости друг к другу, создается ёмкость, обозначенная на этой схеме C_p , которая формируется между сенсором и землёй. C_p – это паразитная ёмкость, и обычно ее значение составляет порядка 10–3000 пФ.



* Схема выполнена не в масштабе

Рисунок 3. Суммирование ёмкостей

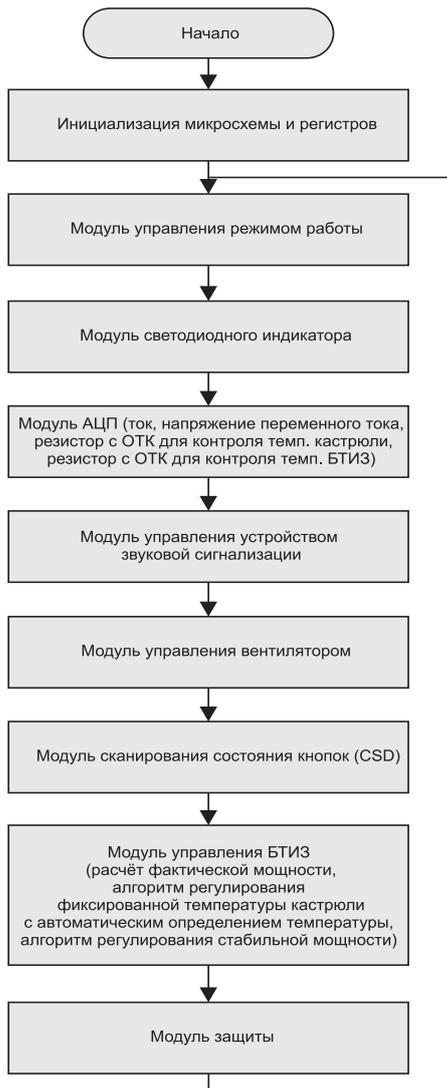


Рисунок 4. Блок-схема встроенного программного обеспечения

Близость с сенсором и заземлённой зоной также создаёт электрическое поле, которое проходит сквозь покрытие. Ткань человеческого тела в основном является проводником, поэтому если поднести палец к электрическим полям, это добавляет ещё одну проводящую поверхность в ёмкостную систему.

Эта дополнительная ёмкость, создаваемая пальцем, которая обозначена на рисунке 3 как C_F , имеет значение порядка 0,1–10 пФ. Хотя присутствие пальца вносит изменение, масштаб этого изменения по сравнению с паразитной ёмкостью достаточно мал. Именно за изменениями этой ёмкости и следит контроллер ёмкостных сенсоров.

Обозначим измеренную ёмкость сенсора C_X . Если пальца нет, C_X равна C_p . Если палец есть, C_X представляет собой сочетание C_F и C_p .

Конечно, в устройствах PSoC 3 можно реализовать ещё множество функций, помимо ёмкостных сенсоров. Имеются аналоговые и цифровые ресурсы для реализации огромного числа других приложений. Можно сконфигурировать базовый цифровой блок для управления светодиодами, ШИМ и для поддержания связи с использованием различных протоколов (I²C, I²S, SPI, UART и т. д.). Аналоговые возможности включают в себя вхо-

ды, выходы, формирование сигналов и управление. Всё это вместе позволяет реализовать индукционную плиту с единственной микросхемой.

С помощью встроенного программного обеспечения реализуются все оставшиеся функции данного устройства. Теперь система включает в себя пользовательский интерфейс: кнопки CapSense и светодиодный индикатор. Она также включает в себя оцифровку аналоговых сигналов и внутренний таймер. Кроме того, алгоритм управления реализует регулирование температуры в соответствии с фиксированным значением, регулирование мощности в соответствии со стабильным уровнем и выполнение основных функций индукционной плиты. На рисунке 4 изображена блок-схема встроенного ПО.

С помощью устройства PSoC 3 все функции индукционной плиты можно реализовать в одной микросхеме. При нескольких внешних компонентах и оптимизированном алгоритме такая разработка реализует все основные функции кухонной плиты, кнопки CapSense, регулирование с обратной связью для достижения стабильной мощности и регулирование с обратной связью для достижения фиксированной температуры.

НОВОСТИ

Цифровое управление в реальном времени на кончиках ваших пальцев



Texas Instruments расширяет экосистему стартовых площадок для микроконтроллеров новым комплектом для семейства C2000 всего за \$17

Переход от исследования к макетированию цифровых управляющих приложений реального времени теперь происходит проще и дешевле при помощи нового отладочного комплекта C2000™ LaunchPad, построенного на 32-разрядном микроконтроллере TMS320F2802x семейства Piccolo™ от TI. Отладочный комплект C2000™ LaunchPad построен на осно-

ве популярной и успешной экосистемы LaunchPad для микроконтроллеров Texas Instruments.

C2000™ LaunchPad представляет из себя модульный набор, содержащий всё необходимое для быстрого старта – микроконтроллер, отладочный комплект и программное обеспечение – разработчикам, любителям и студентам для изучения новейшей техники управления в реальном времени для таких приложений, как цифровое управление двигателями, освещением и преобразователями энергии.

www.ti.com/c2x-launchpad-pr-mc

Томас Кугельштадт (Thomas Kugelstadt)

Обеспечение развязки высокоскоростной шины (SPI) вопреки большим задержкам распространения сигналов

Шина последовательного периферийного интерфейса (SPI) – это синхронный полнодуплексный последовательный канал передачи данных, широко используемый для обмена данными на коротких расстояниях между основным устройством, таким как микроконтроллер (MCU), и одним или несколькими подчинёнными устройствами, такими как преобразователи данных, цифровые устройства ввода/вывода, датчики температуры и контроллеры управления питанием.

При использовании в стандартной конфигурации можно достичь высоких скоростей передачи данных, до 20 Мбит/с, не подвергая опасности синхронность тактового сигнала и данных. Однако современные промышленные разработки часто требуют гальванической развязки контроллера и цепей сбора данных и датчиков, потенциалы заземления которых изменяются в широких пределах. Для развязки применяют цифровые развязывающие устройства. Эти устройства вносят задержки распространения, которые, находясь в зависимости от частоты тактовых импульсов интерфейса, могут привести к потере синхронизации и, таким образом, к увеличению частоты появления битовых ошибок.

Принцип работы

SPI использует три линии интерфейса. Первая – где основное устройство формирует тактовый сигнал последовательного интерфейса (SCK), чтобы начать передачу данных.

Вторая – линия передачи данных, по которой данные отправляются из основного устройства в подчинённое с обозначением MOSI (выход основного устройства (Master-Out), вход подчинённого устройства (Slave-In), контакт на стороне основного устройства) и SIMO (вход подчинённого устройства (Slave-In), выход основного устройства (Master-Out), контакт на стороне подчинённого устройства).

Третья – линия приёма данных, по которой данные отправляются из подчинённого устройства в основное с обозначением MISO (вход основного устройства (Master-In), выход подчинённого устройства (Slave-Out), контакт на стороне основного устройства) и SOMI (выход подчинённого устройства (Slave-Out), вход основного устройства (Master-In), контакт на стороне подчинённого устройства).

Четвёртый провод, который обычно имеется в интерфейсе, используется для сигнала выбора

подчинённого устройства (/SS). Этот сигнал не требуется для управления потоком данных через интерфейс. Но он полезен для адресации подчинённых устройств по отдельности, если эта линия подключается к их контактам разрешения выборки кристалла (/CE) или выборки кристалла (/CS).

Обычно скорости передачи данных находятся в диапазоне от 1 до 20 Мбит/с, а длина посылки может быть в диапазоне от 8 или 12 бит до величин, кратных этим значениям. Операции передачи данных всегда подразумевают обмен данными. В то время как основное устройство отправляет данные в подчинённое, подчинённое устройство отправляет данные в основное. По этой причине внутренние регистры сдвига основного и подчинённого устройств образуют кольцо (рисунок 1).

Перед обменом данными основное и подчинённое устройства загружают в свои внутренние сдвиговые регистры данные из памяти. По тактовому сигналу, подаваемому основным устройством, основное устройство сначала отправляет старший значащий бит (MSB) своего регистра сдвига по линии MOSI. В то же время подчинённое устройство считывает первый бит от основного устройства по линии SIMO, записывает его в свой регистр сдвига и отправляет свой MSB по линии SOMI. Основное устройство считывает первый бит подчинённого устройства в линии MISO и сохраняет его в памяти для последующей обработки. Вся процедура продолжается до тех пор, пока устройства не обменяются всеми битами, после чего основное устройство оставляет уровень в линии тактового сигнала без изменения и отключает

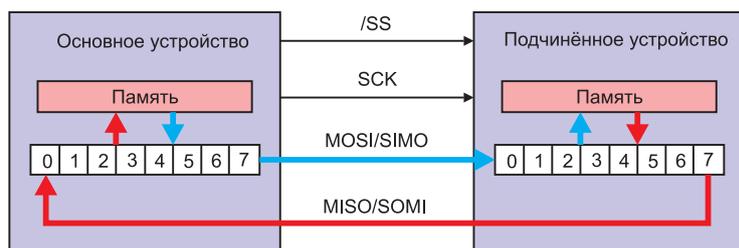


Рисунок 1. Два регистра сдвига образуют общий для обеих микросхем кольцевой буфер. Данные из памяти основного устройства попадают в память подчинённого устройства, и наоборот

подчинённое устройство с помощью линии /SS.

Помимо настройки частоты тактовых импульсов, основное устройство также задаёт полярность тактового сигнала и его фазу по отношению к данным. Эти две настройки, известные как CPOL и CPHA, позволяют изменять фазу тактового сигнала на 180° и задерживать данные на половину периода тактового сигнала (рисунок 2).

При CPOL = 0 исходное состояние тактового сигнала – уровень логического нуля. Если CPHA=0, данные считываются по переднему (нарастающему) фронту и изменяются по заднему (спадающему) фронту сигнала SCK. Если CPHA=1, данные считываются по заднему (спадающему) фронту и изменяются по переднему (нарастающему) фронту сигнала SCK.

При CPOL=1 исходное состояние тактового сигнала – уровень логической единицы. Если CPHA=0, данные считываются по заднему (спадающему) фронту и изменяются по переднему (нарастающему) фронту сигнала SCK. Если CPHA=1, данные считываются по переднему (нарастающему) фронту и изменяются по заднему (спадающему) фронту сигнала SCK.

Шина SPI с развязкой

Для стандартных конфигураций SPI задержка распространения представляет собой лишь небольшую часть длительности тактового импульса. Реализация развязки, однако, добавляет значительную задержку распространения в тактирование интерфейса (рисунок 3). Единственный способ заставить эту схему работать заключается в радикальном снижении частоты тактовых импульсов и, следовательно, в уменьшении пропускной способности канала обмена данными.

Предположим, что в момент времени X передний фронт тактового импульса запускает тактирование интерфейса и при этом и тактовый сигнал, и передаваемые данные от основного устройства прибывают с одинаковой задержкой, равной задержке распространения в развязывающем устройстве, на подчинённое

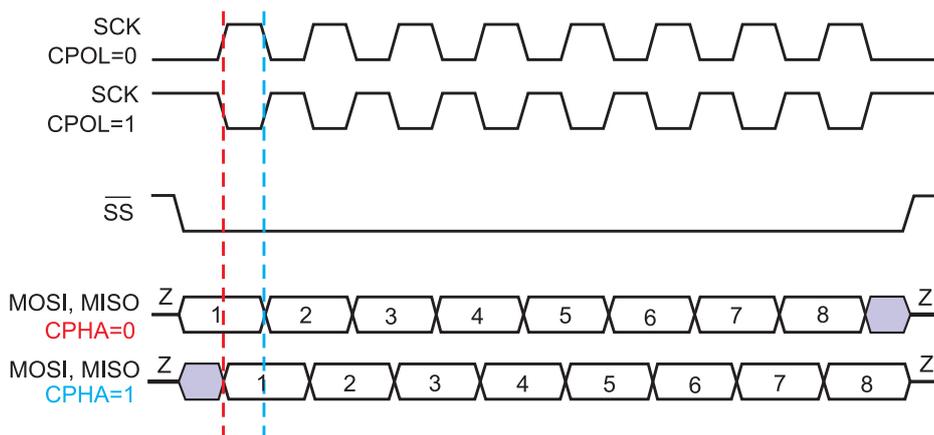


Рисунок 2. Приём-передача байта по SPI-интерфейсу

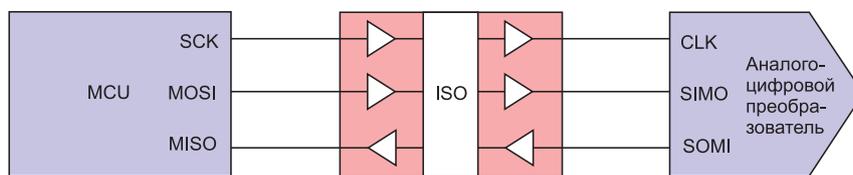


Рисунок 3. Простая схема гальванической развязки SPI-интерфейса

устройство в момент времени $t=x+t_p$. Затем, через время ответа, t_{RSP} , подчинённое устройство отправляет свои данные в основное устройство, куда принимаемые данные также поступают через развязывающее устройство с задержкой. Таким образом, общая задержка между первоначальным фронтом тактового импульса и сигналом принимаемых данных составляет приблизительно две задержки распространения в развязывающем устройстве (рисунок 4):

$$t_D = 2 \cdot t_p + t_{RSP}$$

Поэтому при высоких частотах тактовых импульсов синхронность тактового сигнала и сигнала принимаемых данных теряется. В то время как подчинённое устройство продолжает оставаться способным считывать

передаваемые данные в нужный момент, основное устройство считывает принимаемые данные не в правильное время. Следовательно, потеря синхронности означает потерю данных и увеличение количества битовых ошибок.

Одним из способов поддержания синхронности является радикальное уменьшение частоты тактовых импульсов, пока ширина тактового импульса не станет приблизительно равной удвоенной задержке распространения. Для примера: в случае высокоскоростного цифрового развязывающего устройства со скоростью 150 Мбит/с, такого как ISO7231M, работающего при напряжении питания 3,3 В, максимальная задержка распространения составляет 34 нс, что требует минимальной ширины тактового импульса $T/2 = 2 \times 34 \text{ нс} = 68 \text{ нс}$.

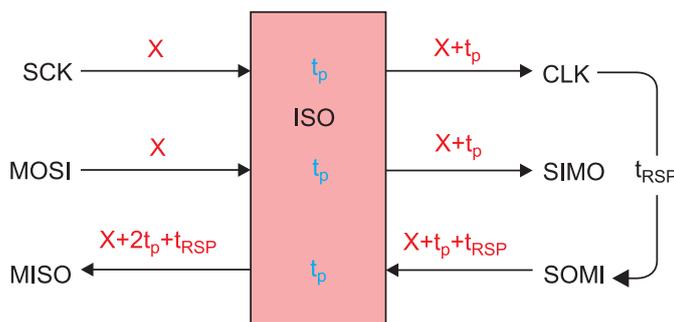


Рисунок 4. Задержка выдачи данных в простой схеме развязки

В случае коэффициента заполнения 50% такая ширина импульса означает период тактового сигнала 136 нс или тактовую частоту 7,35 МГц. К сожалению, при таком уровне скорости передачи сильно недоиспользуются возможности высокоскоростного развязывающего устройства. Другой способ полностью использовать возможности максимальной скорости развязывающего устройства заключается в применении закольцовывания тактового сигнала.

Шина SPI, развязанная с помощью закольцовывания тактового сигнала

Для связи с периферийными устройствами по шине SPI на высокой скорости и/или на больших расстояниях необходимо компенсировать задержку распространения в канале передачи данных. Наиболее широко применяемый метод заключается в том, чтобы направить тактовый сигнал основного устройства обратно по отдельной линии передачи, которая будет являться источником тактового сигнала для принимающего устройства с целью обеспечения синхронности принимаемых данных, отправлен-

ных подчинённым устройством (рисунк 5).

В направлении передачи данные, отправленные основным устройством, остаются синхронизированными с тактовым сигналом основного устройства и могут быть легко считаны подчинённым устройством. В противоположном направлении, или в направлении приёма, данные, отправленные подчинённым устройством, передаются синхронно с отправленным назад тактовым сигналом, поскольку и данные и сигнал получают одну и ту же задержку распространения в развязывающем устройстве (рисунк 6).

Поскольку оба потока данных, в направлении передачи и в направлении приёма, теперь имеют свои собственные тактовые сигналы, с которыми они синхронизированы, канал передачи данных не зависит от задержки распространения и скорости передачи сигнала синхронизации и позволяет в максимальной степени использовать свои возможности с точки зрения скорости передачи данных.

Ключевое требование такого подхода заключается в том, что основной контроллер должен иметь два порта SPI, один из которых программируется в режиме основного устрой-

ства, а другой программируется в режиме подчинённого устройства. Большинство современных микроконтроллеров отвечают этому требованию, имея два, три или четыре порта SPI на одном кристалле с частотами, намного превосходящими 20 МГц.

Однако программируемые пользователем вентиляционные матрицы (FPGA) могут работать с гораздо более высокими частотами тактовых сигналов, такими как 50–100 МГц. Такие скорости обычно требуются в цифровых модулях ввода/вывода с большим числом каналов, где несколько SPI работают в шлейфовой конфигурации и высокая скорость последовательного интерфейса является обязательным требованием.

Заключение

SPI – это синхронный полнодуплексный интерфейс. Если вы сталкиваетесь с требованиями высокой скорости передачи и большими задержками распространения, вносимыми цифровыми развязывающими устройствами или длинными линиями передачи, применяйте метод закольцовывания тактового сигнала, чтобы обеспечить надёжную работу интерфейса.

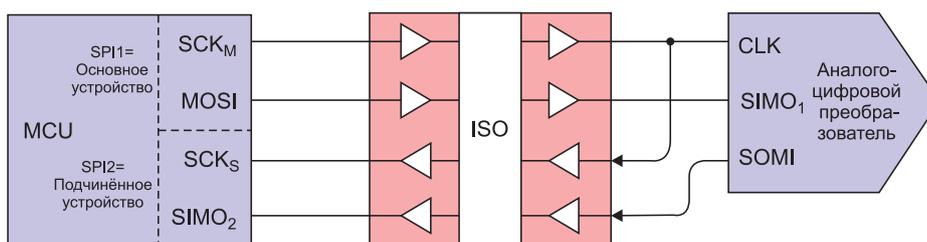


Рисунок 5. Схема гальванической развязки SPI-интерфейса с возвратом тактового сигнала

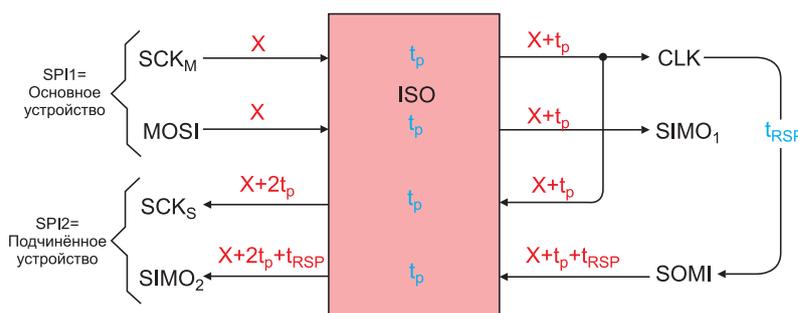


Рисунок 6. Формирование задержек в схеме с возвратом тактового сигнала

Томас Кугельштадт (Thomas Kugelstadt)

Преобразователи интерфейса RS-232/RS-485 для удалённой связи

В промышленных каналах связи, требующих передачи данных по каналу RS-232 на большие расстояния или между несколькими объектами, использующими RS-232, часто применяются преобразователи интерфейса RS-232 в RS-485. Несмотря на широкий диапазон амплитуды сигнала, до ± 13 В, RS-232 является несимметричным интерфейсом и, будучи таковым, очень чувствителен к наводкам. Поэтому максимальная длина линии связи при его использовании ограничивается примерно 20 м. Кроме того, позволяя осуществлять полнодуплексную передачу данных, то есть передачу и приём данных одновременно по отдельным сигнальным проводникам, RS-232 не поддерживает подключение нескольких узлов к одной и той же шине.

RS-485, напротив, является симметричным интерфейсом, использующим дифференциальные сигналы, что делает его очень устойчивым к синфазным помехам. Поэтому необходимость работы канала передачи данных RS-232 на большое расстояние и обеспечение возмож-

ности подключения нескольких узлов к шине требует преобразования сигналов этого интерфейса в сигналы RS-485 с помощью преобразователей интерфейсов (рисунок 1).

На рисунке 2 показана схема мало-мощного, гальванически развязанного преобразователя. Здесь последовательный порт RS-232, например порт персонального компьютера (ПК), подключается к сверхминиатюрному 9-контактному разъёму типа SUB-D9 слева.

Последовательный порт ПК содержит микросхему передатчика/приёмника RS-232, которая преобразует его внутренние логические сигналы с напряжением 5 В в сигналы более высокого уровня, $\pm 8... \pm 13$ В, на разъёме. Эти сигналы преобразуются обратно в сигналы стандартных логических уровней с помощью другой микросхемы RS-232, для соединения с трансивером RS-485.

В направлении передачи трансивер RS-485 преобразует логические сигналы от выхода приёмника RS-232 в дифференциальные сигналы шины. В направлении приёма он преобразует дифференциальные сигналы

шины в сигналы несимметричного интерфейса низкого напряжения, поступающие на вход передатчика RS-232.

Трансивер RS-485 имеет в своём составе ёмкостное развязывающее устройство, которое гальванически изолирует сторону шины и сторону управляющей логики, что исключает токи в цепи заземления между узлами шины.

На стороне шины в конструкции преобразователя предусмотрено несколько элементов для обеспечения надёжной передачи данных. При помощи переключки J1 и J2 можно подключить цепь смещения входов микросхемы на период, когда шина находится в пассивном состоянии, что повышает её помехоустойчивость. С помощью переключки J3 можно реализовать оконечный резистор номиналом 120 Ом, если этот преобразователь располагается на конце шины.

Устройство подавления помех, вызываемых переходными процессами, защищает трансивер от опасных перенапряжений, замыкая их на землю. Для того чтобы направить

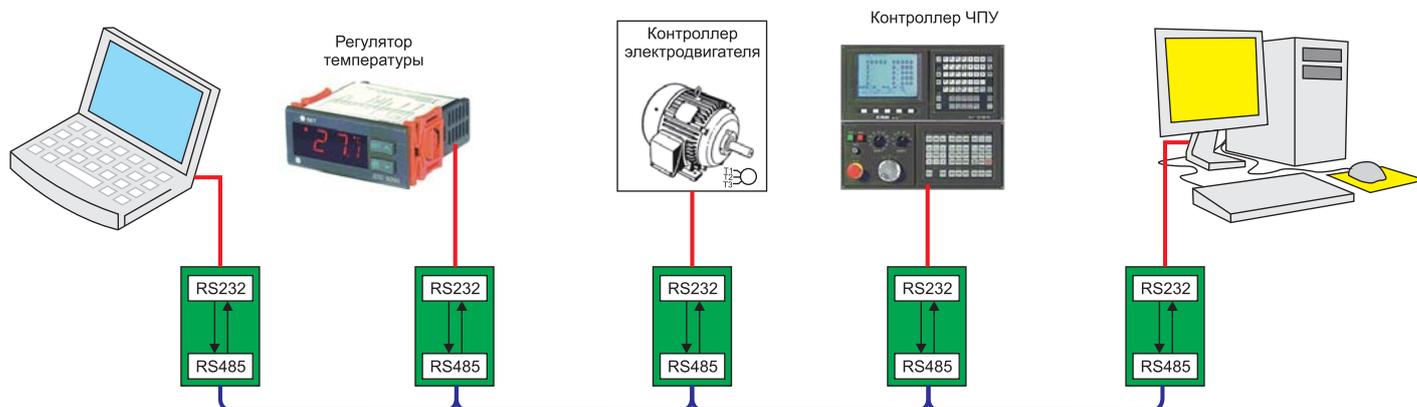


Рисунок 1. Преобразование коротких каналов передачи данных «точка-точка» в многоточечную сеть с передачей на большие расстояния

токи переходных процессов на землю, требуется конденсатор высокого напряжения, обеспечивающий связь по переменному току между плавающей землёй шины и защитным заземлением (PE). Обычно для подключения к клемме PE или на корпус используется короткий одиночный проводник (диаметром 1 мм). Развязка тракта сигнала требует также и развязки по питанию. В данном случае питание, поступающее с шины (3,3...10 В), стабилизируется при помощи LDO-стабилизатора. Затем это напряжение подаётся в цепь питания шины трансивера (V_{CC2}) и на преобразователь постоянного тока с гальванической развязкой. Этот преобразователь состоит из драйвера, развязывающего трансформатора и второго LDO-стабилизатора, который питает цепи на стороне логики.

В старых вариантах преобразователя иногда использовался сигнал запроса на передачу (RTS) для переключения трансивера RS-485

из режима приёма в режим передачи. Но в современных компьютерных приложениях программа, поддерживающая интерфейс и формирующая сигналы RTS, работает под управлением ОС Windows®, а не в реальном времени. Таким образом, если ОС Windows® принимает решение выделить время процессора другому приложению, например программе экранной заставки или антивирусному программному обеспечению, сигнал RTS может не возвратит трансивер в режим приёма вовремя, и данные, отправленные другим узлом шины, могут потеряться.

Схема преобразователя, показанная на рисунке 2, исключает такую возможность благодаря реализации функции автоматического определения направления передачи. Такое определение осуществляется с помощью ждущего мультивибратора, выход которого переключается в состояние высокого уровня стартовым битом с выхода приёмного устрой-

ства RS-232. По умолчанию трансивер RS-485 находится в режиме приёма. Когда выход мультивибратора переходит в состояние высокого уровня, он переключает трансивер в режим передачи.

Постоянная времени ждущего мультивибратора определяется RC-цепью с $C=220$ нФ и $R=10$ кОм для случая, когда время пребывания выхода в состоянии высокого уровня составляет 2 мс, то есть при скорости передачи данных 9600 бит/с, и $R=100$ кОм для случая, когда это время составляет 20 мс – при скорости 1200 бит/с. После того как время пребывания выхода в состоянии высокого уровня истечёт, выход ждущего мультивибратора возвращается в состояние низкого уровня, тем самым переключая трансивер обратно в режим приёма. Хотя функция автоматического определения направления передачи зависит от скорости передачи, она представляет собой надёжный способ предотвращения потерь данных.

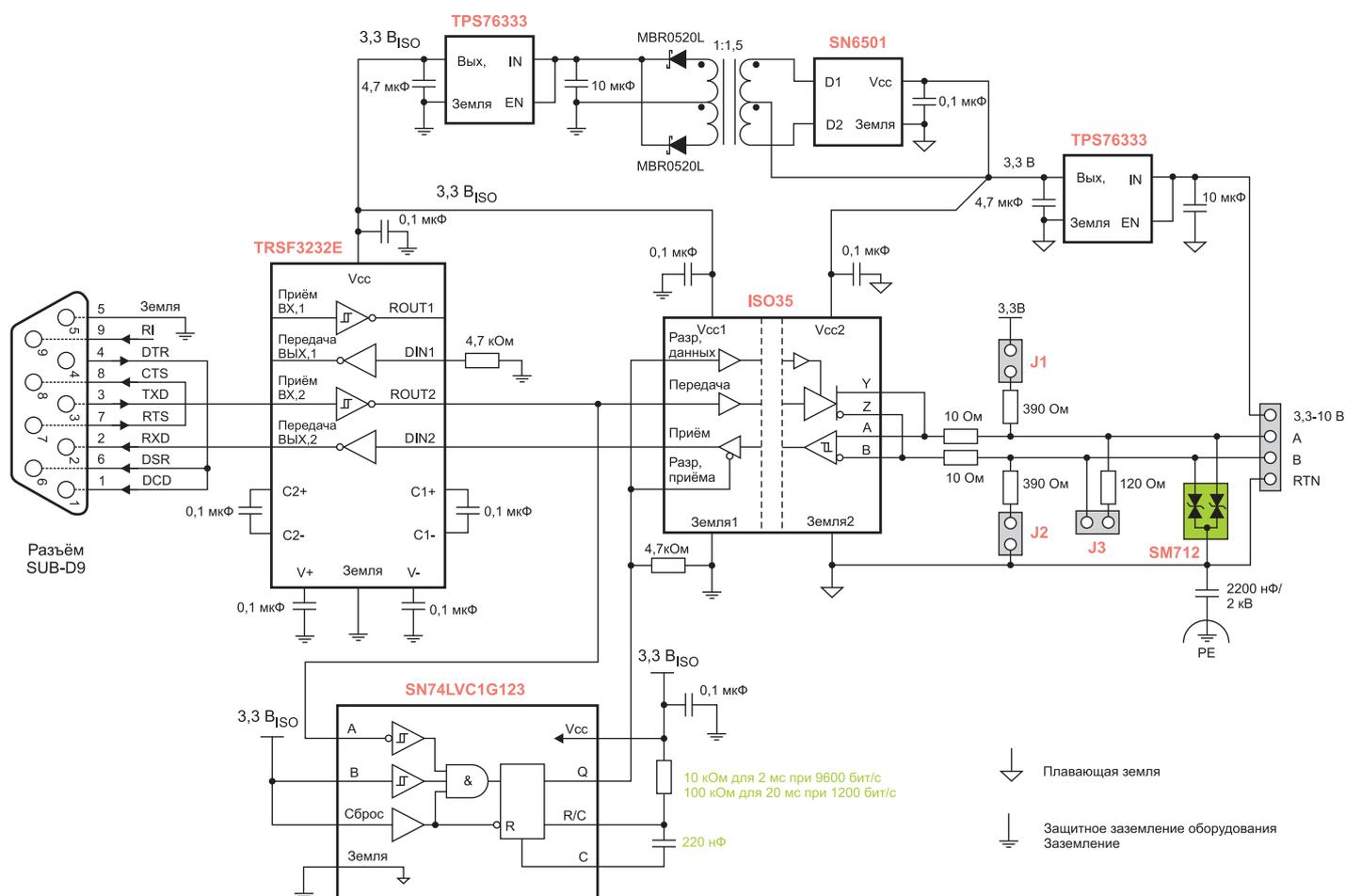


Рисунок 2. Гальванически развязанный преобразователь интерфейса RS-232 в интерфейс RS-485 с автоматическим определением направления передачи

Дуайт Берд (Dwight Byrd), Томас Кугельштадт (Thomas Kugelstadt)

Стандарты испытаний на устойчивость к электростатическому разряду. Пояснения и сравнение различий

Согласно определению, электростатический разряд (ЭСР) – это «внезапный и кратковременный электрический ток, который протекает между двумя объектами с разными электрическими потенциалами». ЭСР вызывает отказы оборудования и перерывы в работе сетей, приводя, таким образом, к производственным потерям, исчисляющимся миллиардами долларов ежегодно. Все компании – изготовители электроники, от переносных бытовых приборов до устройств промышленной автоматизации и систем управления технологическими процессами, а также оборудования оборонного и аэрокосмического назначения, должны учитывать аспекты, связанные с ЭСР, на этапе проектирования оборудования. Для того чтобы удовлетворить широкому спектру технических требований различных сегментов промышленности, сегодня имеется множество стандартов испытаний.

Чтобы помочь разработчику выбрать правильный стандарт испытаний для своей разработки, в этой статье рассматриваются основные стандарты, связанные с ЭСР, и поясняются различия между испытаниями на уровне устройств и систем.

Защита от ЭСР включает в себя широкий спектр схем защиты. Наиболее

широко применяются матрицы входных диодов, диоды подавления переходных напряжений (ППН), а иногда и просто обычные диоды Зенера. Какая бы схема защиты ни была выбрана, окончательное испытание на стойкость к электромагнитным помехам (ЭМП) проводится для всего, требующего защиты решения в целом, а также для самой цепи защиты.

Стандарты испытаний на уровне устройств

Модель человеческого тела

Модель человеческого тела (МЧТ) для испытаний на уровне устройств – это наиболее широко используемая модель испытаний на устойчивость к ЭСР. Она используется для описания чувствительности электронных элементов к повреждениям вследствие ЭСР. Испытание моделирует электрический разряд человека на электронный элемент, который может иметь место, если у человека накопился остаточный заряд (например, после того, как он походил в носках по ковру) и он прикоснулся к электронному устройству. Режимы отказа в случае МЧТ-испытания интегрированных цепей обычно включают

в себя повреждение зоны перехода, проникание металла в полупроводник, расплавление металлических слоёв, проникание металла в полупроводник в зоне контактов и повреждение оксидных слоёв затвора.

Процедура испытания состоит в подаче высокого напряжения последовательно в цепь, состоящую из резистора сопротивлением 1 МОм и конденсатора ёмкостью 100 пФ. После того как конденсатор полностью зарядился, с помощью переключателя он отключается от подачи высокого напряжения и последовательно резистора и включается последовательно с резистором сопротивлением 1,5 кОм и испытываемым устройством (ИУ). Таким образом, напряжение полностью подаётся на резистор и ИУ. Вышеописанная цепь показана на рисунке 1. Значения подаваемого высокого напряжения могут быть разными, в зависимости от уровня испытания, от 0,5 кВ до 15 кВ.

На рисунке 2 изображено типичное показание осциллографа при начальном пике тока до 1,4–1,5 А, когда конденсатор начинает разряжаться, и спаде до асимптотического приближения к нулю ампер примерно в течение 500 нс. Максимальная мощность, которая может проходить через испы-

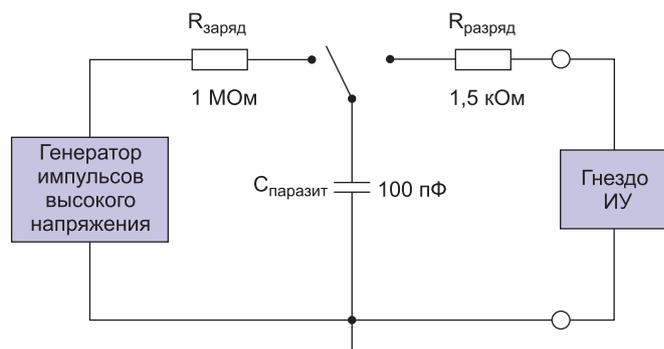


Рисунок 1. Модель тела человека

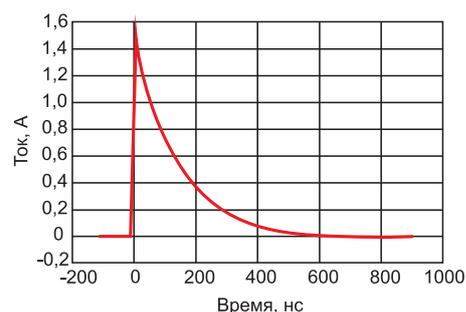


Рисунок 2. Ток ЭСР при разряде с использованием МЧТ

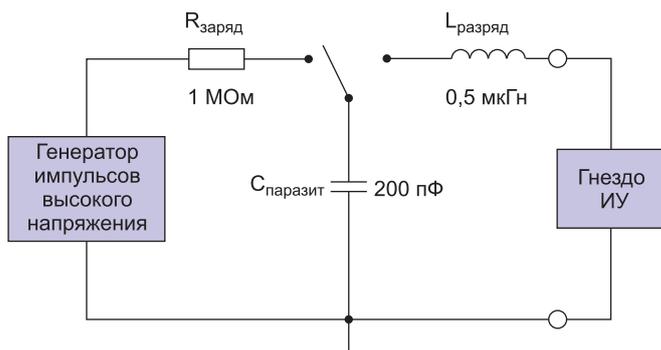


Рисунок 3. Модель машины

тываемое устройство при одиночном разряде в ходе обычного испытания с использованием модели тела человека, составляет 22,5 кВт. (Следует всегда помнить о том, что Мощность [Вт]=Ток [А]•Напряжение [В].)

Модель машины

Модель машины (ММ) для испытаний на уровне устройств впервые была разработана в 1990-е годы и в настоящее время применяется реже. Промышленная автоматизация на производственных площадках в настоящее время становится всё более популярной с целью повышения производительности. Эти машины приобретают электрический заряд после включения и разряжаются на электронные элементы после того, как возникает контакт с ними. Таким образом, ММ была создана как испытание, моделирующее ЭСР такого типа. Режимы отказов, обычно рассматриваемые при применении ММ, аналогичны тем, что имеют место в случае модели человеческого тела, то есть повреждение зоны перехода, расплавление металлических слоёв и повреждение оксидных слоёв затвора.

Процедура испытания в случае ММ состоит в подаче питания высокого напряжения последовательно с цепью, состоящей из резистора конденсатора ёмкостью 200 пФ. После того как конденсатор полностью зарядился, с помощью переключателя он отключается от подачи высокого напряжения и последовательно резистора и включается последовательно с индуктивностью 0,5 мкГн и испытываемым устройством (ИУ). Индуктивность с напряжением конденсатора разряжается через ИУ. На рисунке 3 показана цепь для проведения испытания типа ММ. Обычные значения подаваемого высокого напряжения могут быть разными, но чаще всего используется диапазон от 50 В до 400 В.

Отслеживая с помощью осциллографа зависимость тока от времени (рисунок 4), можно видеть, что при использовании RLC-цепи возникает переменный ток. Ток достигает значения примерно ±3 А, что приблизительно в четыре раза выше, чем амплитуда полного размаха тока в случае модели МЧТ. Более того, в случае ММ разряд происходит намного дольше, хотя

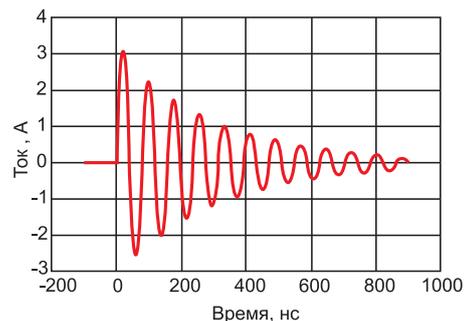


Рисунок 4. Ток ЭСР при разряде с использованием ММ

ток по-прежнему асимптотически приближается к нулю ампер в течение 900 нс. На рисунке 4 показан типичный снимок с экрана осциллографа. Максимальное рассеяние мощности в ИУ при разряде по модели ММ составляет примерно 1,2 кВт.

В отношении модели ММ также интересно то, что она требует испытания каждого контакта в ИУ в точности согласно стандарту. Кристалл электронных элементов монтируется на специально спроектированной плате нагрузки, которая взаимодействует с автоматизированным испытательным устройством ЭСР. Каждый контакт проходит испытание индивидуально, а остальные контакты на плате при этом заземляются. Эта процедура проводится до тех пор, пока не пройдут испытания все контакты. На рисунке 5 показан график проведения испытания.

Модель заряженного устройства

Процедура испытания на уровне устройств на основе модели заряженного устройства (МЗУ) представляет собой моделирование того, что происходит в системах автома-

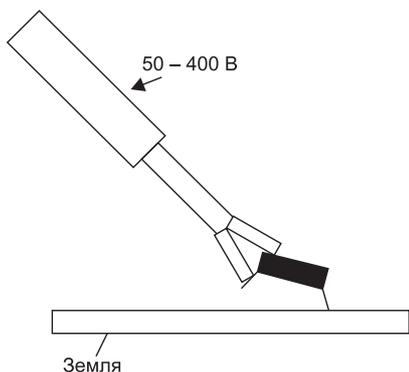


Рисунок 5. Разряд на электронный элемент при использовании модели ММ

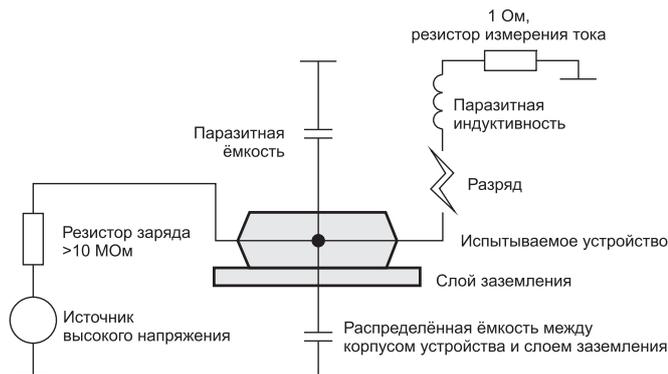


Рисунок 6. Модель заряженного устройства

тизированного производства. В таких системах машины, как известно, остаются включёнными в течение неограниченного времени. Это приводит к тому, что в электронных интегральных схемах (ИС) со временем накапливаются электрические заряды. Когда такая деталь контактирует с заземлённым проводником, остаточная ёмкость с накопленным зарядом разряжается. Для испытания МЗУ ИУ помещается тыльной стороной вверх на испытательную плату.

Металлический электрод, моделирующий поле затвора, и ИУ разделяются изолирующим материалом, который работает как конденсатор между двумя объектами. Затем металлический электрод, моделирующий поле затвора, подключается к высокому напряжению и напряжение на нём доводится до требуемого уровня испытательного напряжения МЗУ. После этого зонд подносится к конкретному испытываемому контакту, где происходит ЭСР. Это проверяется контролем подключения заземления испытываемого контакта. Такое испытание повторяется для каждого контакта ИУ с тремя положительными и тремя отрицательными импульсами. В результате всего получают шесть разрядов для одного контакта. На рисунке 6 показана эквивалентная цепь для модели заряженного устройства.

Снимок экрана осциллографа на рисунке 7 показывает, что разряд в случае модели МЗУ происходит с очень быстрыми переходными процессами. В большинстве случаев он занимает всего пару наносекунд, что затрудняет проведение испытания и моделирование. В результате этого испытания возникает высокое

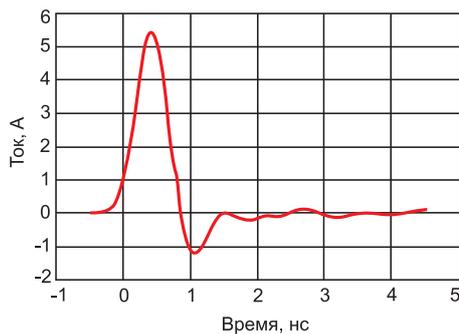


Рисунок 7. Ток ЭСР при разряде с использованием МЗУ

значение тока 5–6 А, протекающего в течение интервала менее 1 нс. Ток прекращается уже через 5 нс, что делает это испытание устройства очень скоротечным, но и очень капризным. Ввиду такого быстрого переходного процесса режимы отказа, которые обычно наблюдают при испытаниях МЗУ, — это повреждение оксидного слоя затвора, захват заряда и повреждение зоны перехода. На рисунке 7 показана форма тока при испытаниях МЗУ.

Обобщение по испытаниям на уровне устройств

Модели МЧТ, ММ и МЗУ наиболее широко используются при испытаниях устойчивости электронных элементов к ЭСР на уровне устройств. В таблице 1 подытожены их сходства и различия.

Испытание устойчивости к ЭСР (рисунки 8) — это испытание на уровне системы, моделирующее электростатический разряд человека на электронный элемент. Электростатический заряд на человеческом теле может накапливаться в условиях низкой относительной влажности и на ковровых покрытиях с низкой проводимостью,

или если на человеке одежда из виныла. Чтобы смоделировать разряд, генератор ЭСР подаёт импульсы ЭСР на испытываемое оборудование (ИО). Это может быть сделано двумя способами.

Первый — путём непосредственного контакта с ИО, который называют также «контактным разрядом», поскольку имеет место физический контакт с ИО. *Второй* — путём непрямого контакта с ИО, когда разряд происходит через воздух. Это испытание называют «разрядом через воздушный зазор». Международная электротехническая комиссия (МЭК) даёт определение этого испытания в IEC61000-4-2, технических условиях на проведение испытаний на устойчивость к ЭСР.

Для этого испытания характерны малое время нарастания (менее 10 нс) и ширина импульса порядка 100 нс, что типично для статических импульсов с низкой энергией. Испытание на устойчивость к ЭСР требует проведения как минимум 10 разрядов как положительной, так и отрицательной полярности при рекомендуемом интервале между разрядами в одну секунду. Таким образом, согласно техническим условиям на испытание на устойчивость к ЭСР на уровне системы ИО будет подвергнуто испытанию не менее 20 раз. В качестве иллюстрации полезное графическое представление испытания показано на рисунке 8.

На рисунке 9 показаны различия между стандартами испытаний на уровне устройств и на уровне си-

Таблица 1. Сводная таблица по испытаниям на уровне устройств

Модель	МЧТ	ММ	МЗУ
Уровень испытания, кВ	2, 4, 8, 15	0,1, 0,15, 0,2	0,25, 0,5, 0,75, 1
Пиковые уровни, А	1,5	±3	5–6
Ширина импульса, нс	~150	~80	~1
Время нарастания	2–10 нс	~нс	<400 пс
Типичные отказы вследствие ЭСР	Повреждение зоны перехода	Повреждение зоны перехода	Повреждение оксидных слоёв затвора
	Проникание металла в полупроводник		
	Расплавление металла	Расплавление металла	Захват заряда
	Проникание металла в полупроводник в зоне контакта	Повреждение оксидных слоёв затвора	Повреждение зоны перехода
	Повреждение оксидных слоёв затвора		

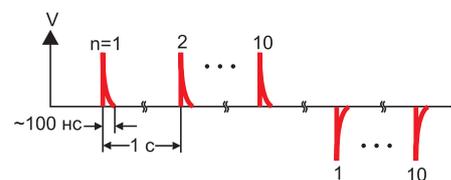
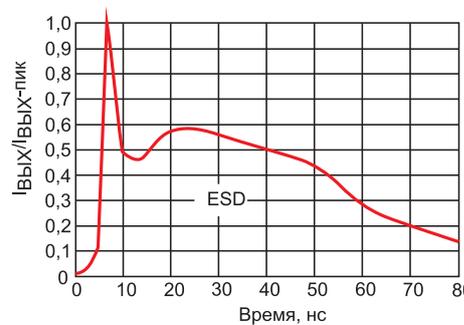


Рисунок 8. Испытание на устойчивость к ЭСР согласно IEC61000-4-2

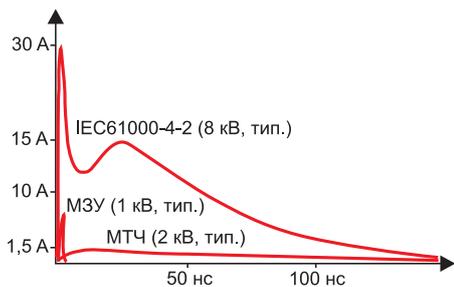


Рисунок 9. Сравнение испытаний на устойчивость к ЭСР на уровне устройств и на уровне систем

стем. Испытание на устойчивость к ЭСР согласно определению МЭК, которое часто называют «золотым стандартом» испытания комплектующих, обычно предполагает в восемь раз большее испытательное напряжение, чем в случае модели МЗУ, и в двадцать раз больший пиковый ток испытания, чем в случае модели МТЧ.

Устойчивость к КПП

Стандарт испытаний на уровне систем, IEC61000-4-4, называют моделью испытаний устойчивости к кратковременным переходным процессам (КПП) в электрических цепях (рисунок 10). Испытание устойчивости к КПП моделирует переходные процессы, которые могут происходить при повседневной эксплуатации электросистем, будучи вызванными отключением индуктивных нагрузок, дребезгом контактов реле и работой универсальных электродвигателей или электродвигателей постоянного тока. Этому испытанию подвергаются все силовые, сигнальные и заземляющие провода. Его также называют «испытанием на устойчивость к пачке импульсов».

Под пачкой понимают последовательность импульсов конечной длительности. При испытании устойчивости к КПП/пачке генератор пачки формирует последовательность испытательных импульсов, которые затухают до 50% своего пикового значения в течение периода менее 100 нс. Следующий импульс обычно подаётся через 1 мкс. Обычно длительность пачки составляет 15 мс. Период пачки, время от начала одной пачки до начала следующей, составляет 300 мс. Этот цикл повторяется в течение 10 с, после чего никаких испытательных воздействий не подаётся в течение 10 с. Это один цикл испытания.

Его необходимо повторить всего шесть раз, то есть общее время испытания составит 110 секунд. Значимость испытания на устойчивость к КПП/пачке импульсов заключается в его малых временах нарастания импульсов, высоких скоростях повторения и низкой энергии импульсов.

Хотя короткое время нарастания и низкая энергия импульсов при испытании устойчивости к КПП делают его похожим на испытания устойчивости к ЭСР, с точки зрения количества импульсов на цикл испытания эти испытания существенно отличаются друг от друга. Если предположить, что интервал между передними фронтами импульсов равен 1 мкс, пачка импульсов при испытании устойчивости к КПП длительностью 15 мс будет содержать не менее 15 000 импульсов. Умножая на количество пачек в 10-секундном окне, которое составляет $10 \text{ с} / 300 \text{ мс} = 33,3$ пачки, получаем 500 000 импульсов в течение 10 с. Таким образом, применение шести окон длительностью 10 с с 10-секундными паузами даёт 3 млн импульсов в течение 110 с.

Поскольку испытание на устойчивость к КПП не предполагает непосредственного контакта проводников, а только не прямое воздействие через емкостный зажим, выбор надлежащих кабелей промышленного качества с внутренним экранированием

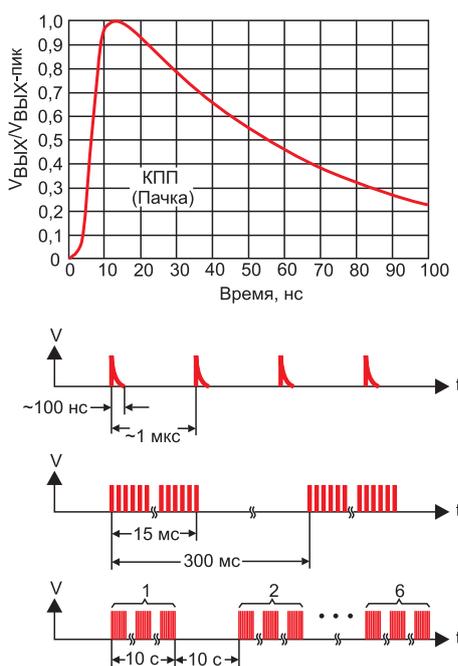


Рисунок 10. Испытание на устойчивость к КПП согласно IEC61000-4-4

может послужить сильной защитой для ИО, радикально ослабляя передачу энергии испытательного воздействия на проводники при испытании на устойчивость к КПП. На рисунке 10 в качестве иллюстрации показано графическое представление испытания на устойчивость к КПП/пачке импульсов.

Устойчивость к выбросам

Испытание на устойчивость к выбросам, IEC61000-4-5 (рисунок 11), – это наиболее суровое испытание устойчивости к переходным процессам с точки зрения тока и длительности. Но его применение часто ограничивается длинными линиями сигналов и питания ($L > 30 \text{ м}$). Испытание на устойчивость к выбросам часто называют «испытанием на устойчивость к грозовым разрядам», так как оно моделирует коммутационные переходные процессы, вызываемые грозовыми разрядами (прямым попаданием грозового разряда или наведёнными напряжениями и токами вследствие непрямого грозового разряда) или переключениями в энергосистемах, включая изменения нагрузки и короткие замыкания.

Формы сигналов на выходе генератора выбросов указываются для состояний холостого хода и короткого замыкания. Отношение пикового напряжения в состоянии холостого хода (разомкнутой цепи) к пиковому току короткого замыкания составляет полное входное сопротивление выхода генератора. Для этого испытания характерны высокие значения тока

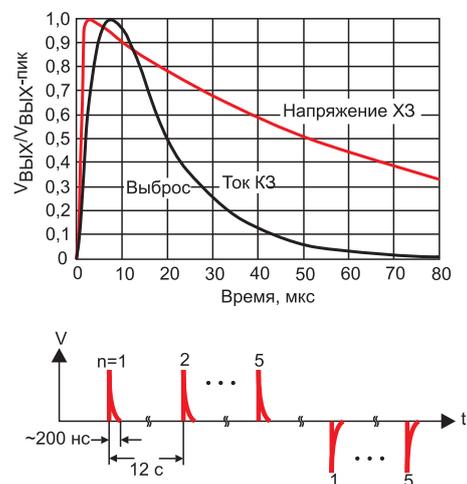


Рисунок 11. Испытание на устойчивость к выбросам согласно IEC61000-4-5

Таблица 2: Сравнение испытаний на уровне систем.

Испытание устойчивости	Стандарт	Испытываемые линии	Напряжение, кВ
К ЭСР	IEC61000-4-2, в воздушном зазоре	Силовые, сигнальные	+15
	IEC61000-4-2, контактное испытание	Силовые, сигнальные	+8
К КПП/пачке	IEC61000-4-4	Силовые	+4
		Сигнальные	+2
К выбросам/грозовым разрядам	IEC61000-4-5 (8/20 мкс) 42 Ом – 0,5 мкФ	Сигнальные	+0,5
	IEC61000-4-5 (8/20 мкс) 2 Ом – 18 мкФ	Силовые	+1

ввиду низкого полного сопротивления генератора и большие длительности импульсов (приблизительно в 1000 раз длиннее, чем при испытании устойчивости к ЭСР и к КПП), указывающие на большие значения энергии импульсов.

Для этого испытания требуется пять положительных и пять отрицательных импульсов выбросов с интервалом между последовательными импульсами в одну минуту или менее. Общепринятым подходом является сокращение интервалов между импульсами до 12 с, в результате чего общее время испытания становится меньше двух минут. Несмотря на то, что такой подход интенсифицирует воздействие выбросов вследствие того, что защитные цепи имеют меньше времени на восстановление между импульсами, он значительно снижает стоимость проведения испытаний. Графическое представление испытания на устойчивость к выбросам показано на рисунке 11.

Обобщение по испытаниям на уровне систем

Стандарты испытаний на уровне систем составлены МЭК на основе технических условий IEC61000-4. Хотя существует примерно 25 стандартов испытаний на уровне систем, которые перечислены в этом семействе технических условий, стандартами, которые касаются испытаний на устойчивость к переходным процессам, являются: стандарты испытаний на устойчивость к ЭСР (IEC61000-4-2), к КПП/пачкам импульсов (IEC61000-4-4) и к выбросам/грозовым разрядам (IEC61000-4-5). В таблице 2 содержатся результаты сравнения этих испытаний на уровне систем.

Выводы

Сегодняшний растущий спрос на испытания на уровне систем делает не соответствующими современным требованиям испытания

на уровне устройств при низких уровнях напряжения/тока моделей МЧТ, ММ и МЗУ.

Однако необходимо провести четкую границу между испытаниями устойчивости к ЭСР и устойчивости к пачкам/выбросам для товаров широкого потребления и промышленного оборудования и систем. В случае изделий широкого потребления испытание на устойчивость к ЭСР имеет более высокий приоритет ввиду более высокой вероятности контакта человека с электронными элементами через кабельные разъёмы.

Разработчики промышленного оборудования, напротив, придают большее значение испытаниям на устойчивость к пачкам и выбросам, чем испытаниям на устойчивость к ЭСР. В этом случае ежедневное массированное воздействие переходных процессов в электрических цепях, вызванное электродвигателями и коммутацией других индуктивных нагрузок, создаёт намного большие риски для системы, чем ЭСР, когда контакт с человеком происходит только при установке системы и её техническом обслуживании, и даже в этом случае, только при использовании средств защиты от ЭСР.

Литература

Подробнее об ЭСР и испытаниях смотрите на сайте www.ti.com/esd-ca.

НОВОСТИ

Первый в своём классе светодиодный (LED) контроллер с непрерывной стабилизацией мощности

Phase-dimmable LED flyback controller

- Power factor correction with primary side regulation
- Flicker-free dimming with TRIAC and trailing edge dimmers
- Constant power LED regulation with thermal foldback protection

TEXAS INSTRUMENTS

TI выпустила новый AC/DC LED драйвер LM3447, содержащий функции обнаружения диммера, декодирование фазы и настраиваемые цепи поддержания тока для обеспечения плавной работы диммирования, свободного от мерцания в автономных приложениях изолированного светодиодного освещения, включая лампы A19, E26/27 и PAR30/38, а также модернизированные светильники.

Традиционные драйверы используют управление постоянным током для точно-

го регулирования прямого тока светодиода. При использовании нового драйвера LM3447 с непрерывной стабилизацией мощности снижение прямого падения напряжения светодиода из-за температуры компенсируется увеличением тока, протекающего через светодиод для поддержания постоянной мощности. Результатом является 10% улучшение эффективности в ожидаемом диапазоне рабочей температуры прибора.

www.ti.com/lm3447-pr

Джон Константинополус (John Constantopoulos)

Преодоление пространственных ограничений в конструкции USB-модема

Введение

Поскольку USB стал стандартным интерфейсом для периферийных устройств ПК, количество устройств, которые могут быть запитаны от USB-порта, растёт по экспоненте. Потребность в гибкой и постоянной связи в нашей жизни становится более актуальной, чем прежде. В расширяющемся беспроводном мире многие устройства становятся портативными, что обеспечивает пользователям возможность лёгкого и гибкого подключения к Интернету в любом месте и в любое время. При всех преимуществах, которые это даёт, существует ряд особых требований, которые должны учитываться при разработке устройств, питаемых от USB-порта.

Суть проблемы

Расширяющаяся номенклатура беспроводных модемов для таких устройств передачи данных, как GSM, GPRS или WiMAX, использует технологию TDMA, требующую при передаче сигналов пикового тока, который может превышать максимальный ток, определяемый стандартом USB. Таким образом, конструкция модема должна предусматривать ограничение входной мощности и расходование ёмкости, размещённой в модеме, для наибольшей энергетической потребности в течение типового цикла передачи.

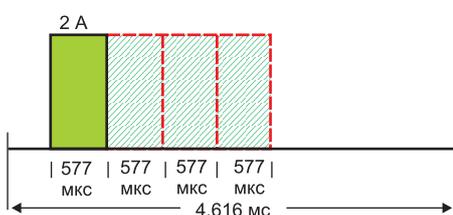


Рисунок 1. Период передачи типového импульса GSM/GPRS

Как показано на рисунке 1, сигнал GSM передаётся на несущей с частотой 216 Гц (интервал повторения импульсов 4,616 мс). Период передачи разделён на восемь временных интервалов и зависит от используемого класса питания (8, 10 или 12), продолжительность такого импульса тока может варьироваться от одной восьмой цикла (577 мкс) вплоть до половины цикла передачи (2,308 мс).

Большинство работ по проектированию источников питания для GSM рассматривают цикл передачи из-за высокого потребления тока в этом режиме. Основной проблемой с точки зрения требований GSM или GPRS для модемов передачи данных является то, что средний ток, который может быть потреблён от USB-хоста, составляет 500–700 мА, тогда как большинство передатчиков требуют в импульсе 1,5–2 А тока для обеспечения передачи на полной мощности.

Например, при передаче по классу 10 GPRS используются не более двух интервалов времени по 577 мкс, тогда как остальные шесть интервалов используются для подзарядки конденсатора, во время которых потребляемый ток снижается менее чем до 100 мА. Таким образом, источник питания должен обеспечивать не менее чем средний ток в течение одного периода передачи, а также должен обеспечивать работу при импульсах тока во время передачи до 2 А.

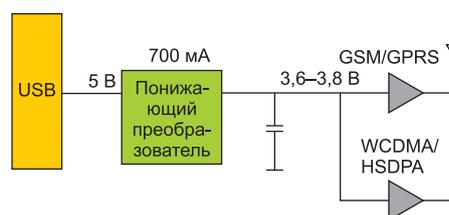


Рисунок 2. Общий вид решения с понижающим преобразователем

Очевидно, что нормальная работа источников питания, необходимых для USB-устройств, невозможна без принятия специальных мер при проектировании.

Различные подходы к проектированию

Существует ряд различных топологий, которые могут быть использованы для питания модемов. Но в рамках данной статьи мы будем сравнивать вариант понижающего преобразователя и вариант понижающего преобразователя в сочетании с токоограничивающим ключом для демонстрации экономии, которую может достичь проектировщик, используя второй вариант.

Решение 1 — понижающий преобразователь

Из рисунка 2 видно, что использование понижающего преобразователя обеспечивает минимальные размеры преобразователя. Но остающееся требование по буферизации импульсов передачи до 2 А приводит к необходимости использования большого и дорогостоящего конденсатора.

Предполагая, что DC/DC-преобразователь имеет входной ток около 700 мА при питании непосредственно от USB-порта (то есть от 5 В) и при выходном напряжении питания RFPA 3,8 В, можно обеспечить эффективный выходной ток около 920 мА непосредственно от DC/DC-преобразователя (потери на переключение не учитываются):

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{I_{\text{ВХ}} \times V_{\text{ВХ}}}{V_{\text{ВЫХ}}} = \frac{0,7 \text{ А} \times 5 \text{ В}}{3,8 \text{ В}} \approx 920 \text{ мА.}$$

Оставшаяся часть энергии, необходимой в интервале времени передачи сигнала GSM, должна поступать от конденсатора

$$I_{\text{конд}} = I_{\text{GSM}} - I_{\text{DCDC}},$$

$$I_{\text{конд}} = 2 \text{ A} - 920 \text{ mA}.$$

Таким образом, эффективное значение ёмкости, требуемое для буферизации каждого импульса в предположении передачи по классу 10 (интервал 1,154 мс), равно:

$$C = \frac{I \times \Delta t}{\Delta V},$$

$$C = \frac{1,08 \text{ A} \times 1,154 \text{ мс}}{500 \text{ мВ}} \approx 2,7 \text{ мФ}.$$

Но, как и для многих новых устройств, настойчивыми требованиями являются форм-фактор и низкая стоимость. И в случае использования модемов это требование ничем не отличается. Новейшие модели встраиваются во flash-устройства небольшого размера, имеющие дисплей малого размера и возможность использования карт памяти типа Micro SD.

Этим фактически ограничивается пространство, доступное для установки электронных компонентов, поэтому использование конденсатора больших размеров в случае ограниченного пространства усложняет компоновку и, в общем случае, приводит к увеличению затрат.

Новый подход — почему бы не накапливать энергию при повышенных напряжениях?

С учётом требований к размеру и стоимости имеются альтернативные возможности экономии на накопительном конденсаторе. Увеличивая энергию в конденсаторе, разработчик может значительно уменьшить его размер, уменьшив тем самым общий размер устройства и снизив его стоимость.

Энергия, накапливаемая в конденсаторе, зависит от заряда на каждой из обкладок, q (К), и разности потенциалов, V (В), между электродами. Энергия, E (в Дж), накапливаемая в конденсаторе с ёмкостью C (Ф), определяется следующей формулой:

$$E = \frac{1}{2} qV^2 = \frac{1}{2} CV^2.$$

Таким образом, необходимая ёмкость является функцией квадрата напряжения. Следовательно, чем выше напряжение на конденсаторе, тем больше энергии накоплено, а это означает, что можно уменьшить суммарную ёмкость и всё равно достичь необходимого уровня энергии, требуемого для буферизации нагрузочного импульса при передаче.

Для иллюстрации этой топологии мы использовали токоограничивающий ключ и понижающий преобразователь от Texas Instruments. На рисунке 3 показано, как эта топология может быть реализована с использованием DC/DC-преобразователей от Texas Instruments.

Ключи распределения питания USB TPS2552/53 от Texas Instruments предназначены для устройств, где требуется точное ограничение тока или когда можно столкнуться с большими емкостными нагрузками и короткими замыканиями. Эти устройства позволяют программным способом задать порог ограничения тока до 1,5 А с точностью до $\pm 6\%$ посредством использования навесного резистора.

TPS62065 представляет собой 3 МГц понижающий преобразователь с высоким КПД, который используется в качестве пост-стабилизатора для обеспечения импульсов тока 2 А, необходимых для RFPA в течение цикла передачи. Для малошумящих устройств возможен переход в режим фиксированной частоты ШИМ путём подачи высокого уровня на вывод MODE. TPS62065 выпускается в корпусе 2x2 QFN.

Из-за ограничений по размеру для подачи энергии в нагрузку и поддержания выходного напряжения в заданных пределах во время выходных токовых импульсов необходимы

низкопрофильные накопительные буферные конденсаторы. В данном случае для обеспечения питания нагрузки во время импульса используются низкопрофильные танталовые конденсаторы POSCAP ёмкостью 150 мкФ от компании Sanyo. Для заданных амплитуды и длительности импульса в нагрузке конденсаторы выбирались таким образом, чтобы обеспечить максимальное падение напряжения на понижающем преобразователе ($V_{\text{IN_MIN}} = 3,5 \text{ В}$), поддерживая в то же время стабильное питание 3,3 В для RFPA.

Падение напряжения в схеме состоит из двух компонентов падения напряжения на понижающем преобразователе IR, ассоциируемого с внутренним сопротивлением конденсатора (определяемым эквивалентным последовательным сопротивлением), и падения напряжения на конденсаторе в конце импульса. Пренебрегая входным током от источника, суммарное падение выходного напряжения определяется как:

$$V_{\text{DROOP}} = I_{\text{PULSE}} \times \left(R_{\text{ESR}} + \frac{t_{\text{PULSE}}}{C_{\text{OUT}}} \right),$$

где V_{DROOP} — изменение выходного напряжения, I_{PULSE} и t_{PULSE} — пиковый ток в импульсе и длительность соответственно, R_{ESR} — эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора и C_{OUT} — выходная ёмкость.

Преимущество такого метода накопления энергии может быть показано путём сравнения двух различных сценариев. Как показано в сравнительной таблице 1, к буферному конденсатору были приложены два разных напряжения смещения и были рассчитаны энергия, накапливаемая в конденса-

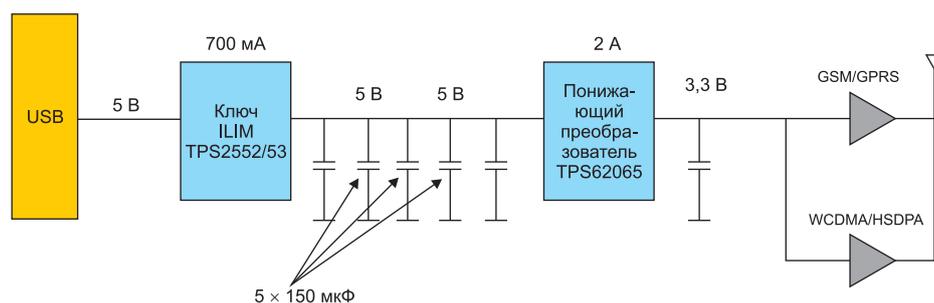


Рисунок 3. Общий вид решения с ключом ILIM + понижающий преобразователь

торе, и требуемая суммарная эффективная ёмкость. При расчёте использовался импульс передачи класса 10 (1,154 мс).

Для расчёта суммарной ёмкости (4), необходимой для буферизации импульса передачи, требуется понимать, какое количество энергии накапливает промежуточный конденсатор и что требуется понижающему преобразователю для питания RFPA во время передачи. (2) и (3), приведённые в таблице 1, представляют собой непосредственные энергетические требования для выходного напряжения из (1). С учётом этого можно рассчитать, какое количество энергии требуется получить от конденсатора и, как итог, какая требуется суммарная ёмкость:

$$C = \frac{2 \times E_{\text{конд}}}{V^2} = \frac{2 \times 4,757 \text{ мВтс}}{5^2 - 3,5^2} \approx 750 \text{ мкФ.}$$

Как видно из таблицы 1 и приведённых расчётов, оба сравнения имеют значительные преимущества, связанные со снижением ёмкости, по сравнению с обычным понижающим преобразователем, при поддержании требуемой суммарной энергии в конденсаторе.

Энергия, обеспечиваемая TPS2552/53 при повышенном напряжении, значительно снижает суммарную ёмкость. Это, в свою очередь, значительно снижает затраты и размеры устройства.

На рисунках 4 и 5 показаны осциллограммы для конфигурации TPS2553+TPS62065 при использовании 5×150 мкФ (Sanyo POSCAP) в качестве буферного каскада, при нагружении типовыми импульсами 2 А для классов питания 8 и 10 соответственно (577 мкс и 1,154 мс). Когда передача отсутствует, от устройства потребляется малый ток или потребление отсутствует, а выходное напряжение остаётся стабильным на уровне 3,3 В. При возникновении импульса нагрузки во время передачи выходное напряжение токоограничительного ключа начинает падать, тогда как в нагрузку подаётся питание требуемого уровня, а на выходе понижающего преобразователя напряжение остаётся стабильным в течение каждого периода передачи.

Таблица 1. Выходная ёмкость при использовании токоограничивающего ключа и понижающего преобразователя

Проектный параметр	Требуемое значение	
V _{IN_LOAD_SWITCH} , В	5,0	(1)
V _{OUT_LOAD_SWITCH} , В	5,0	
I _{IN_LIMIT} , А	0,7	
Время передачи GSM, мс	1,154	(2)
Динамическая нагрузка, мВт с	3,433	
Понижающий преобразователь I/LIM, А	2,0	
V _{OUT_BUCK} , В	3,3	(3)
КПД понижающего преобразователя, %	93%	
V _{IN_BUCK_MIN} , В	3,5	
Энергия от понижающего преобразователя, мВт с	8,190	(4)
Энергия от конденсатора, мВт с	4,757	
Суммарная требуемая ёмкость, мФ	0,746	

Заключение

До настоящего времени разработчики портативных систем редко использовали большие конденсаторы для устройств, отличных от резервных или дежурных, где токи низки и времена заряда продолжительны. Но расширение спектра новых устройств, последовавшее с приходом нового поколения высокопроизводительных модемов, потребовало высоких пиковых токов, что вынудило разработчиков к поиску новых решений.

В таких устройствах разработчики часто прибегают к различным способам снижения времени заряда, разме-

ров изделия и его суммарной стоимости, обеспечивая при этом требуемый высокий пиковый ток. Компактное устройство, использующее силовой ключ TPS2553 и понижающий преобразователь TPS62065 (2 А) от Texas Instruments, представляет собой оптимальное решение для источника питания GSM/GPRS в случае периферийных устройств, питаемых от USB. Это элегантное решение проблемы импульсной нагрузки, занимающее малое место на плате, в сочетании с современными низковольтными танталовыми конденсаторами, является экономически эффективным и компактным.

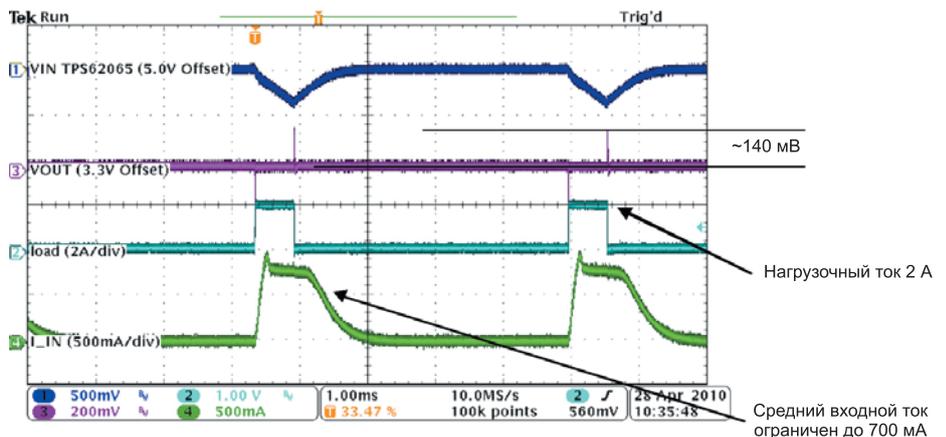


Рисунок 4. Нагрузочный импульс 2 А при интервале передачи 577 мкс

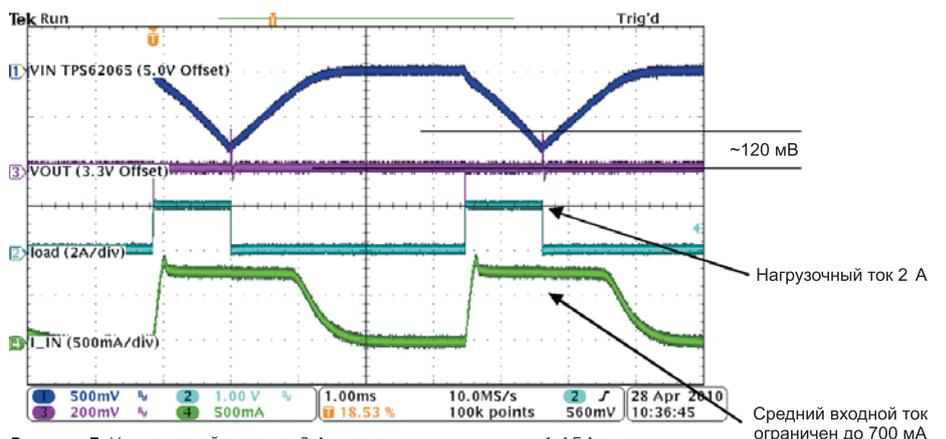


Рисунок 5. Нагрузочный импульс 2 А при интервале передачи 1,154 мс

Эдуард Шпрайтцер (Eduard Spreitzer)

Бистабильные реле как достижение технологических высот компании Gruner AG

За последние 20 лет компания Gruner заняла лидирующее положение на мировом рынке поляризованных бистабильных реле для токов нагрузки до 250 А. Разработана всеобъемлющая линейка изделий, особенно для использования в приборах учёта. В настоящее время компания предлагает 10 типов реле, которые отвечают всем требованиям потребителей. Ведётся разработка новых реле, призванных удовлетворить возрастающие требования к экономичности и эксплуатационным характеристикам. Это возможно только при тесном сотрудничестве с ведущими мировыми изготовителями приборов учёта. Требования, выдвигаемые коллективами разработчиков, обратная связь и отзывы о нашей продукции тех, кто занят производством и эксплуатацией установленного оборудования, представляют собой важные исходные данные для инженеров Gruner, проектирующих реле, которые отвечают требованиям потребителей.

Проектирование реле, процесс изготовления, испытания и контроль качества – вот основа производства высококачественной продукции. Как правило, для отключения и подключения потребителей требуются реле, которые гарантируют надёжную работу в течение всего срока службы устройства. Издержки на техническое обслуживание в случае отказа обычно намного выше цены современного счётчика электроэнергии, обладающего возможностью отключения потребителей. Технология совершенных реле компании Gruner применяется и в других секторах промышленности, где предъявляются высокие требования к надёжности, эксплуатационным характеристикам и безопасности.

К сожалению, Gruner сталкивается с большим количеством подделок

своих наиболее широко используемых реле, которые производятся в Азии. Высокие темпы роста рынка реле побудили множество компаний вывести на рынок «точные» копии пользующихся спросом изделий, игнорируя права интеллектуальной собственности. Некоторые из этих подделок выглядят в точности как настоящие изделия Gruner, вплоть до того, что имеют тот же цвет, логотип и номер модели. На сегодня выявлено шесть различных изделий, изготавливаемых пятью разными поставщиками из азиатских стран.

Поддельные реле Gruner – это изделия, с максимальной точностью воспроизводящие оригиналы путём простого копирования. Качество, надёжность и эксплуатационные характеристики такой продукции вызывают сомнения. За ними не стоит серьёзных инвестиций в исследования и разработку. Компании, подделывающие реле Gruner, не вкладывают средства в разработку новых, инновационных изделий – они ждут появления новых изделий от Gruner, чтобы скопировать их.

Реле Gruner защищены международными правами интеллектуальной собственности. Во всём мире ведётся борьба с нарушениями прав интеллектуальной собственности не только в этой отрасли промышленности. Многие страны участвуют в дискуссиях о том, как справиться с этой проблемой. Чтобы защитить свои права, компания Gruner работает с правительством Германии, которое, в свою очередь, выступило с инициативой обсуждения этой проблемы на правительственном уровне с представителями соответствующих стран. Gruner будет продолжать наблюдать за дальнейшим развитием рынка, чтобы отслеживать незаконное копирование про-

дукции и добиваться конфискации таких изделий на границах, если это необходимо.

Бистабильные реле – одни из наиболее дорогих комплектующих в приборах учёта. Понятно, что их изготовители ищут альтернативные недорогие варианты, особенно если изделия выглядят абсолютно одинаково. Однако использование таких подделок может стать опасным. Отсутствие надлежащих технологических знаний и небрежность при организации производства могут привести к серьёзным проблемам, например к свариванию контактов, сокращению срока службы и уменьшению стойкости к токам короткого замыкания.

Реле Gruner – это результат технической разработки, взаимодействия с потребителями, обработки информации, получаемой от потребителей, и многолетнего опыта, накопленного в области проектирования и изготовления бистабильных реле для решения важнейших задач в сложных условиях эксплуатации. Для этого требуются серьёзные усилия и капиталовложения. Высокий стандарт качества реле Gruner имеет в своей основе не только продуманные разработки изделий, но и специализированную, хорошо разработанную технологию производства и контроля качества.

Сотрудничество с заказчиками основано на честном партнёрстве, и мы продолжим нашу совместную работу на принципах внедрения технических новшеств и обеспечения качества. Проектирование и производство инновационной продукции требует усилий и капиталовложений.

Компания Gruner приняла решение двигаться по пути прогресса и внедрения технических новшеств вместе со своими потребителями. Значительная часть дохода компании по-прежнему будет вкладываться в разработку новых и усовершен-

ствованных реле. Покупать подделки не дальновидно. Это, возможно, и позволит сэкономить на первом этапе, но может кончиться дорогостоящим возвратом изделий.

Бистабильные реле для управления электрической нагрузкой

Электроэнергия не является неограниченным ресурсом, и цены продолжают расти. Наиболее эффективным способом сбережения энергии и снижения себестоимости является регулирование энергопотребления на стороне потребителя (demand side management – DSM). DSM включает в себя снижение пикового потребления, энергосбережение посредством индивидуальной коммутации нагрузки, точный учёт энергопотребления потребителями и отключение потребителей, не оплачивающих счета за электричество.

Эффективное DSM-регулирование стало возможно теперь благодаря использованию бистабильных реле и современной электроники. Электронная база важна для осуществления измерений, учёта времени, интеллектуальной коммутации нагрузки и реализации многих других функций в современных системах DSM. Бистабильное реле – это ключевой элемент для отключения и подключения нагрузок и потребителей.

Стандарты и требования к бистабильным реле

Бистабильные реле должны соответствовать нескольким международным стандартам. В некоторых странах и энергосистемах установлены дополнительные требования для учёта своих особых нужд.

Стандарт МЭК 6180 содержит основные определения и параметры

В части 1 устанавливаются общие требования и требования к обеспечению безопасности; а часть 2 посвящена надёжности контактной системы при работе с различными нагрузками.

Часть 21 стандарта МЭК 62052 устанавливает требования к тарификации и регулированию нагруз-

зок, а часть 11 стандарта МЭК 62054 посвящена контролю качества напряжения (ранее эта область регулировалась стандартом МЭК 61037). Технические требования определяют срок службы оборудования более 15 лет, а реле должно выдерживать токовую перегрузку до того момента, пока автоматический выключатель или предохранитель не разомкнёт цепь. Часть 31 введённого стандарта МЭК 62055 содержит новейшие требования к коммутации нагрузки в счётчиках оплаты электроэнергии. Она устанавливает категории переключения нагрузки в счётчиках оплаты электроэнергии UC1–UC4. UC1 – это основные базовые требования, установленные в стандарте МЭК 62052, части 11. Для категории UC2 и выше реле должно быть способно осуществлять переключение при токах короткого замыкания, которые могут иметь место в счётчиках оплаты электроэнергии. Испытательные токи составляют 2,5 (UC2), 3,0 (UC3) и 4,5 кА (UC4). Испытание повторяется три раза на одном и том же образце, при этом контакты должны размыкаться с первой попытки после каждого замыкания.

Условия эксплуатации

Бистабильные реле для DSM часто применяются в суровых условиях эксплуатации.

Перегрузки по току, вызванные аварией или созданные преднамеренно, имеют место достаточно часто. Неисправное оборудование, короткие замыкания в проводке и подключение дополнительных нагрузок могут создать токи коммутации, превосходящие допустимые номинальные токи реле. В таких случаях реле должно выдерживать эти токи, пока не сработает автоматический выключатель или предохранитель.

Опыт, полученный в ходе внедрения счётчиков электроэнергии с предварительной оплатой, продиктовал необходимость формулирования дополнительных требований к техническим характеристикам. В частности, в тех случаях, когда потребители отключаются за неуплату, возникает высокая вероятность злонамеренного вмешательства в работу оборудования. Изменение метрологических

констант, фиксация реле в замкнутом положении, частичное или полное шунтирование счётчика – вот лишь несколько примеров.

Но, как правило, первым, что потребитель пытается вывести из строя, является реле. Есть примеры попыток удерживать реле в замкнутом положении с помощью магнитов, а также попыток сваривания контактов реле за счёт создания сверхтоков с помощью коротких замыканий без защиты. Реле должно выдерживать токи короткого замыкания в таких условиях.

Во многих случаях счётчики электроэнергии с предоплатой устанавливаются в неблагоприятных зонах. Счётчики монтируются на столбах или наружных стенах и подвергаются воздействию суровых условий окружающей среды. Зимними ночами температура может опускаться далеко ниже нуля; в жаркие дни оборудование может нагреваться на солнце до температуры выше 50 °С.

Всякий дополнительный самонагрев усиливает уже имеющееся нагревание, вызванное внешними условиями. Полное сопротивление цепи тока, включающей в себя реле, должно быть как можно ниже. Механические и электрические характеристики реле должны обеспечивать надёжную работу.

Оборудование может подвергаться воздействию агрессивных погодных условий, особенно в прибрежных районах. Все материалы и соединения должны служить много лет без отказа или ухудшения их параметров в результате коррозии.

Технология бистабильных реле



Рисунок 1. Клёпаное соединение, являющееся газонепроницаемым

Контакты

Контакты реле выполняются из определённого материала. Это позволяет добиться хорошего компромисса между сроком службы (количеством операций переключения) и способностью выдерживать сверхтоки. Важна форма контактов, так как она определяет начало и характеристику износа в течение срока службы.

Во время переключения всякий дребезг контактов необходимо свести к минимуму, чтобы избежать их сваривания и преждевременного износа. Контактное усилие должно быть определено очень тщательно. Слишком большое усилие может привести к залипанию контактов, слишком маленькое усилие ведёт к чрезмерному сопротивлению контактов.

В новейших бистабильных реле используется технология, при которой контактное усилие регулируется при высоких токах с помощью магнитных полей, создаваемых в проводниках внутри реле.

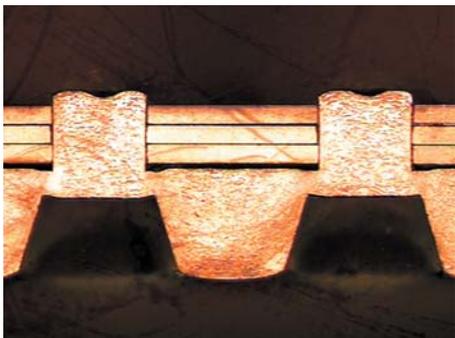


Рисунок 2. Клёпаное соединение, не являющееся газонепроницаемым

Конструкция контактов должна быть способна противостоять попыткам злонамеренного вмешательства в работу с использованием сверхтоков. Для повышения способности выдерживать токи короткого замыкания и для снижения полного сопротивления контактов используются двойные (параллельные) контакты.

Магнитная система реле

Магнитная система обычно состоит из исполнительного механизма с постоянным магнитом и электромагнитной системы с одиночной или двойной катушкой. Магнитная система не должна быть чувствительна к попыткам злонамеренного вмешательства в её работу с использова-

нием сильных магнитов или ударов и вибрации.

Соединения токопроводящих выводов реле

Реле должно подключаться к клеммам счётчика. Токосодержащий контур должен иметь как можно меньшее сопротивление. Требуется медный проводник определённого поперечного сечения, обладающий высокой проводимостью. Все соединения должны быть надёжными в течение всего срока службы счётчика. Некачественные соединения могут привести к точечному самонагреву, эрозии, окислению и, весьма вероятно, преждевременному отказу.

Во многих случаях соединение осуществляется с помощью винтов – в частности, в тех случаях, когда изготовители отдают предпочтение самым дешёвым вариантам реле с короткими силовыми выводами. Необходимо правильно выбрать материал винтов, шайб и гаек, чтобы не допустить коррозии. Затягивание следует выполнить с надлежащим крутящим моментом.

Идеальной ситуацией является такая, при которой вся конфигурация соединений в цепи тока представляет собой часть реле. Однако во многих случаях это неэкономично, поскольку увеличивает расход металла при изготовлении токопроводящих выводов реле в ходе листовой штамповки, что неприемлемо увеличивает себестоимость.

Другим вариантом является приваривание отдельных выводов к реле. Но процесс сварки и тепло, выделяющееся при этом, могут привести к деформации и изменению свойств материала.

Соединение с помощью заклёпок оказывается неплохим компромиссным вариантом. Различные части токовой цепи можно оптимизировать с точки зрения их материала и внешнего вида. Затем разные части можно скрепить заклёпками, чтобы получить полный токовый контур, включающий в себя реле.

Правильно выполненные клёпаные соединения обладают следующими характеристиками:

- Заклёпка идеально прилегает к внутренней поверхности пробитого отверстия. Это так называемое газонепроницаемое соединение.

- Токосодержащие выводы реле и контактная пружина не деформируются.
- Соединение обеспечивает ламинарное протекание тока и поэтому позволяет избежать точечного разогрева.

Отличные результаты достигаются только при использовании надлежащего производственного оборудования. Для выполнения клёпаного соединения необходимо использовать специальные эксцентриковые или коленно-рычажные прессы, а также прессы с датчиками регулируемого усилия сжатия. Такие прессы имеют тонкую регулировку, чтобы обеспечить хорошую воспроизводимость результата. Инструмент точно подгоняется под конструкцию заклёпки, и все детали прижимаются друг к другу при приложении усилия.

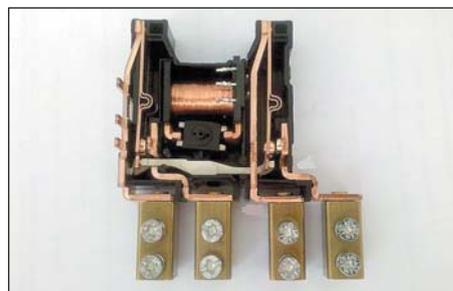


Рисунок 3. Устройство бистабильного поляризованного реле

Это обеспечивает хорошую стабильность работы в долгосрочной перспективе в суровых условиях окружающей среды.

Конструкция счётчика

Изготовителям оборудования рекомендуется поддерживать связь с поставщиком реле с самого начала своих разработок. Конфигурация токовой цепи влияет на себестоимость, самонагрев и надёжность работы. Расположение реле внутри оборудования может улучшить стойкость к воздействию магнитных полей. Выбор сопротивления управляющей катушки может повлиять и на выбор электронных элементов. Тесное сотрудничество обеспечивает оптимизированные эксплуатационные характеристики, качество, надёжность и себестоимость.

Дополнительную информацию можно найти на сайте компании Gruner AG www.gruner.de.

Арт Кей (Art Kay)

Анализ и измерение собственных шумов в схемах с операционными усилителями

Окончание. Начало в №2-2012 бюллетеня «Компоненты Т1»

Анализ измерительного усилителя на трёх ОУ вручную

В данном разделе будет рассчитан предполагаемый выходной шум типового измерительного усилителя. Лучшим способом для этого является анализ различных отдельных участков схемы с последующим объединением результатов. Такой анализ покажет, какие источники шума яв-

ляются значимыми и какими источниками шума можно пренебречь. Возможность выяснения определяющего источника шума является критической при разработке малошумящих систем; это может сберечь усилия по снижению уровня шума в элементе, который не оказывает значимого влияния на шумовые характеристики.

На рисунке 10 показан пример схемы, которая будет анализироваться. Коэффициент уси-

ления этой схемы составляет 101 ($\text{Gain}=1+100\text{ кОм}/1\text{ кОм}$). В схеме используется измерительный усилитель с однополярным питанием 5 В. В данном примере используется опорный буферный каскад для создания на выводе опорного сигнала напряжения, равного половине напряжения питания. Этим обеспечивается симметричный размах выходного сигнала при биполярных входных сигналах. Опорный буфер необходим, поскольку вывод опорного сигнала является относительно высокоимпедансным и любое последовательно включённое сопротивление может привести к возникновению погрешности делителя напряжения на неинвертирующем входе А3 [1]. Входной сигнал схемы поступает с мостового датчика. С помощью мостового датчика может измеряться широкий спектр сигналов (например, давление, деформация, ускорение и т. п.). Для целей нашего анализа мы представляем мостовой датчик просто в виде четырёх резисторов.

На рисунке 11 показано, как рассчитывать выходной шум опорного буфера. Отметим, что в опорном буфере используется делитель напряжения, состоящий из двух резисторов по 100 кОм. С точки зрения шумов, резисторы включены параллельно (то есть считается, что источник питания 5 В находится под переменным потенциалом земли). Для расчёта суммарного шума схемы опорного сигнала рассмотрим тепловой шум делителя, напряжение шумов, возникающее от протекания тока через делитель, и шум ОУ.

Рассмотрим расчёт уровня шумов для опорного буфера с рисунка 11. Сначала рассчитывается тепловой шум делителя напряжения (7) –

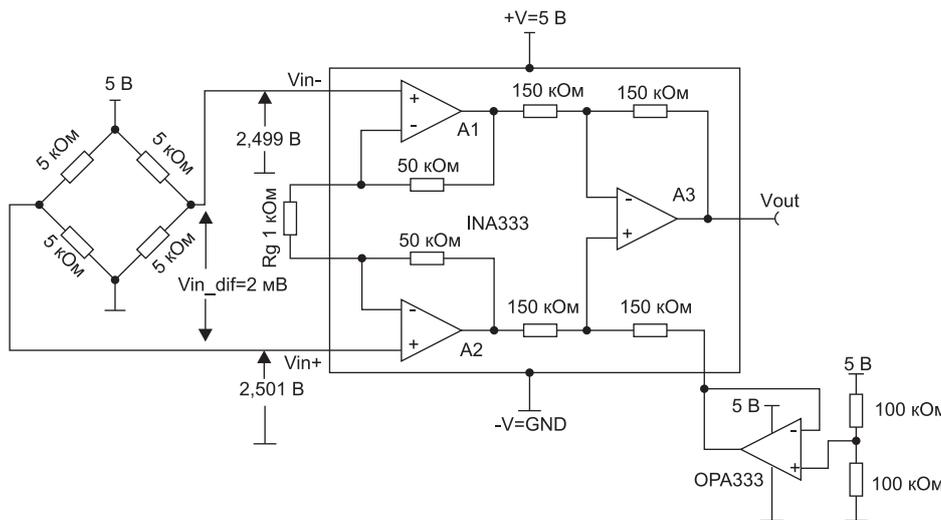


Рисунок 10. Усилитель сигнала мостового датчика в качестве примера для расчёта

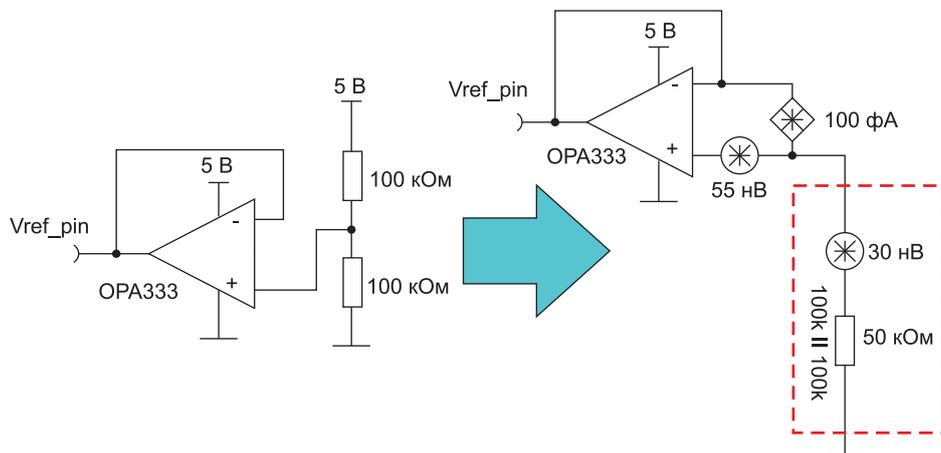


Рисунок 11. Шумовая эквивалентная схема каскада опорного буфера

тепловой шум от входного резистора:

$$e_{n_r} = \sqrt{4k_n T_k R_{eq}} = 28,7 \frac{\text{нВ}}{\sqrt{\text{Гц}}}, \quad (7)$$

где $k_n = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, $T_k = 273 + 25$ – температура (К), $R_{eq} = 50 \text{ кОм}$ – входное сопротивление (параллельное соединение резисторов делителя напряжения). Напряжение шумов от шумового тока (8), умноженного на сопротивление делителя напряжения, очень мало ($5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$).

$i_n = 100 \text{ фА}$ – токовый шум от ОРА333

$$e_{n_i} = i_n R_{eq} = 5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}. \quad (8)$$

Обычно для ОУ на КМОП-структурах шумовым током можно пренебречь, если входное сопротивление велико (например, более 10 МОм).

$e_{n_{opa}} = 55 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ – напряжение шумов от ОРА333

Суммарный шум опорного буфера определяется шумами ОУ ($62,2 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$).

$$e_{n_{ref}} = \sqrt{e_{n_{opa}}^2 + e_{n_r}^2 + e_{n_i}^2} = 62,2 \frac{\text{нВ}}{\sqrt{\text{Гц}}}, \quad (9)$$

где $e_{n_{ref}}$ – суммарный среднеквадратичный уровень шума от схемы опорного формирователя.

При проектировании опорного буфера необходимо учитывать тепловой шум делителя напряжения. Замена резисторов номиналом 100 кОм на резисторы номиналом 10 кОм может значительно снизить тепловой шум. Такая замена приведёт к снижению выходного шума до $55 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$. Единственным способом дальнейшего снижения шума является замена ОУ. В зависимости от устройства такая замена может быть неосуществима на практике. В данном примере, ОРА333 и делитель напряжения не потребляют много энергии. Замена делителя напряжения и ОУ для улучшения шумо-

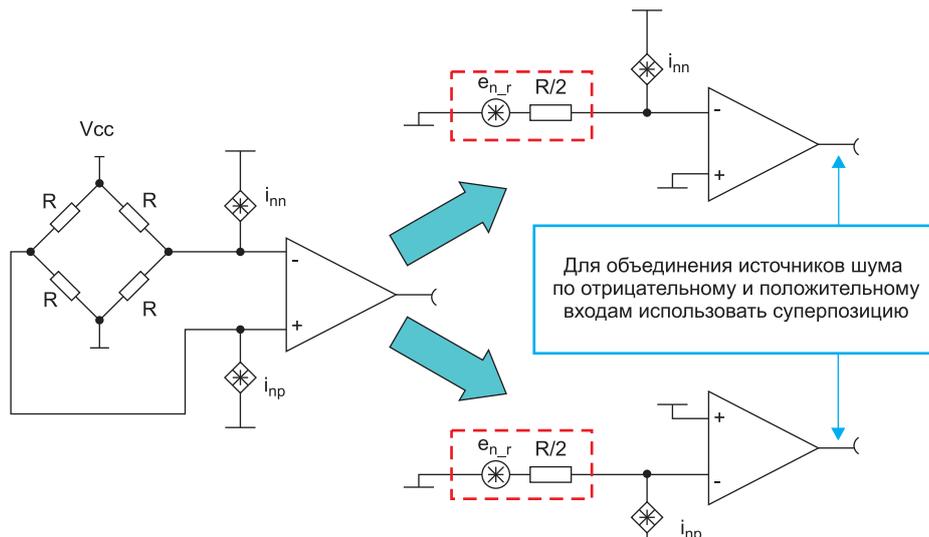


Рисунок 12. Шумовая модель моста и входной шумовой ток

вых свойств может привести к значительному увеличению потребляемой мощности. Кроме того, далее будет видно, что вклад шума опорного буфера не является значительным в данной схеме.

На рисунке 12 показано, как анализировать тепловой шум резистивного мостового датчика, и влияние токового шума. Простейшим способом выполнения такого анализа является раздельное рассмотрение каждого входа с использованием суперпозиции для объединения шумов по каждому входу. Vcc действует, как земля по переменному току, так что для каждого входа резисторы двух плеч моста включены параллельно. Таким образом, для каждого входа эквивалентным входным сопротивлением является половина сопротивления моста ($R/2$).

Рассмотрим расчёт теплового шума от мостового датчика и влияние токового шума. В этом примере токовый шум пренебрежимо мал, поскольку INA333 представляет собой измерительный усилитель на КМОП-структуре ($100 \text{ фА}/\sqrt{\text{Гц}}$). Для преобразования токового шума в напряжение шумов необходимо умножить его на эквивалентное входное сопротивление.

$i_{nn} \times R/2$ – напряжение шумов от токового шума. Шум резистора определяется выражением (10):

$$e_{n_{rb}} = \sqrt{4k_n T_k \frac{R}{2}}. \quad (10)$$

Для добавления уровня шумов от входного сопротивления и обоих

источников токового шума использовать суперпозицию:

$$e_{in_i} = \sqrt{\left(i_{nn} \frac{R}{2}\right)^2 + e_{n_{rb}}^2 + \left(i_{np} \frac{R}{2}\right)^2 + e_{n_{rb}}^2}.$$

Положим $|i_{nn}| = |i_{np}|$. Необходимо отметить, что эти источники взаимно независимы. Суммарный шум от входных резисторов и источника тока будет определяться (11):

$$e_{in_i} = \sqrt{2\left(i_n \frac{R}{2}\right)^2 + 2e_{n_{rb}}^2}. \quad (11)$$

Для данного примера $R = 5 \text{ кОм}$, $i_n = 100 \text{ фА}/\sqrt{\text{Гц}}$, $e_{n_{rb}} = 6,4 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ – это шум резистора. Напряжение шумов от токового шума:

$$i_{nn} \frac{R}{2} = 0,25 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}.$$

Суммарный шум от входных резисторов и источника тока:

$$e_{in_i} = \sqrt{2(0,5)^2 + 2(9,1)^2} = 9,1 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}.$$

На рисунке 13 показаны все составляющие шума для нашего примера. Отметим, что шум входного каскада и датчика суммируются, как корень квадратный из суммы квадратов. Теперь умножаем объединённый шум по входу и шум датчика на коэффициент усиления INA и суммируем

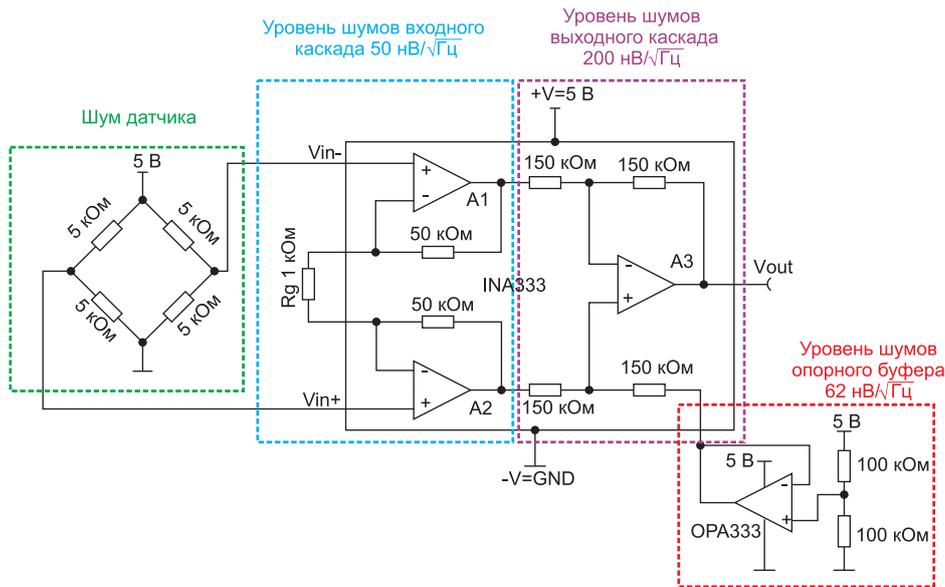
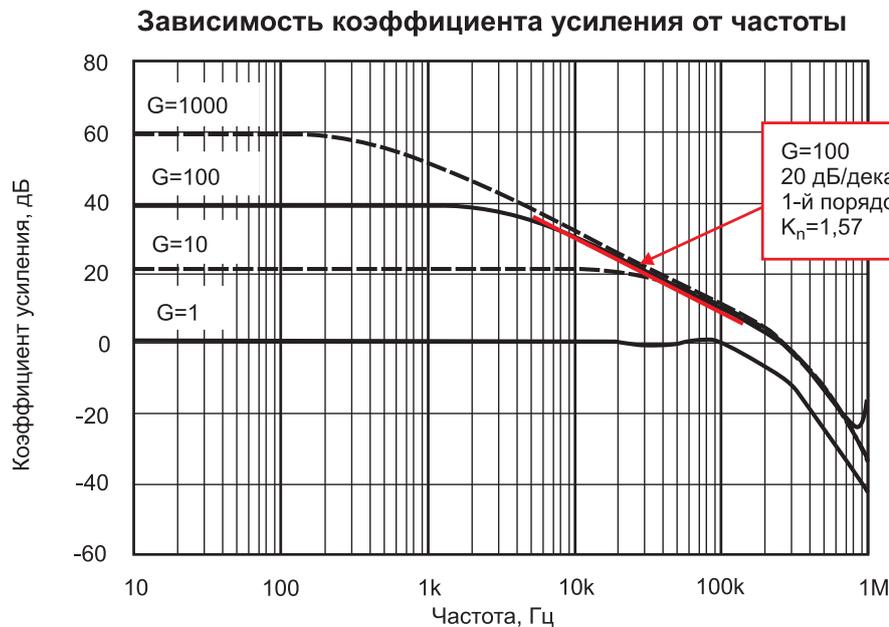


Рисунок 13. Суммирование составляющих шума для схемы примера



Параметр	INA333			Ед. изм.
	Мин.	Тип.	Макс.	
Частотная характеристика G=1		150		кГц
G=10		35		кГц
G=100		3,5		кГц
G=1000		350		Гц

Рисунок 15. Модель шума для INA на трёх усилителях

$$\text{Noise_Spec_Den_RTI} = \sqrt{V_{n_in_stage}^2 + V_{n_bridge}^2 + \left(\frac{V_{n_out_stage}}{G}\right)^2 + \left(\frac{V_{n_ref_buf}}{G}\right)^2}$$

$$\text{Noise_Spec_Den_RTI} = \sqrt{50^2 + 9^2 + \left(\frac{200}{100}\right)^2 + \left(\frac{62}{100}\right)^2} = 50,847 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}} \cdot (12)$$

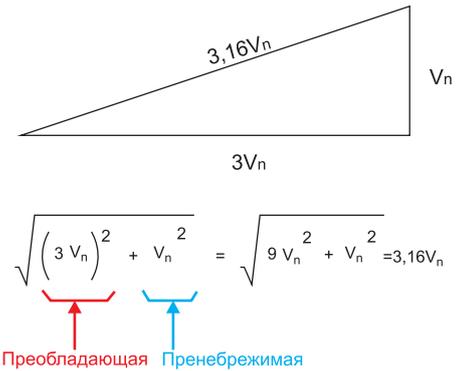


Рисунок 14. Правило трёх, определяющее преобладающие составляющие шума

корень квадратный из суммы квадратов с шумом выходного каскада и шумом опорного буфера.

При проведении анализа шумов часто имеется единственный преобладающий источник шума, а всеми остальными источниками можно пренебречь без внесения значимой погрешности. На практике источник шума является преобладающим, если его уровень в три раза превышает таковой для прочих источников. Следует учитывать коэффициент, равный корню квадратному из трёх, поскольку суммирование шумов производится, как корень квадратный из суммы квадратов. Рисунок 14 иллюстрирует правило трёх.

В примере нашей схемы можно видеть, что преобладающим является шум входного каскада. При сравнении различных составляющих друг с другом не следует забывать о правиле трёх. Шум входного каскада составляет 50 нВ/√Гц и суммарный шум, приведённый ко входу, составляет 50,8 нВ/√Гц. Важно определить основные шумовые составляющие, чтобы не терять время в попытках оптимизировать шумовые характеристики незначительных цепей. В данном примере определяющим фактором, влияющим на суммарный шум, является шум входного каскада. Таким образом, оптимизация шумовых характеристик опорного буфера не принесёт заметной выгоды. Спектральная плотность шума для данного примера, приведённая ко входу, определяется выражением (12), где 50² – преобладающая, (9² + (200/100)² + (62/100)²) – пренебрежимая, а 50,847 нВ/√Гц – приблизительно равно преобладающей составляющей.

Следующим этапом анализа является расчёт суммарного среднеквадратичного значения шума и размах шумового сигнала на выходе. Для расчёта среднеквадратичного значения шума необходимо знать полосу частот шума. Для оценки порядка спада коэффициента усиления на высоких частотах можно взять график зависимости коэффициента усиления от частоты из руководства по данному усилителю. На рисунке 15 показан спад коэффициента усиления – 20 дБ/декаду (эквивалентно однополюсному фильтру первого порядка). Мы используем характеристики спада для расчёта поправочного коэффициента (K_n) и рассчитываем полосу частот шума путём умножения поправочного коэффициента на полосу пропускания по уровню 3 дБ. В данном примере $K_n=1,57$, поскольку спад для INA333 на высоких частотах соответствует однополюсному звену. Таким образом, для данного примера полоса частот шума составляет $BW_n=1,57 \times (3,5 \text{ кГц})=5,495 \text{ кГц}$.

Рассмотрим окончательный расчёт для примера схемы. В данном примере используется измерительный усилитель с чопперной стабилизацией. Поэтому усилитель не имеет составляющих шума $1/f$ и расчёт упрощается. Мы рассчитываем среднеквадратичное значение шума путём извлечения квадратного корня из произведения полосы частот шума на входной шум (13), затем аппроксимируем полный размах напряжения, используя шестикратное среднеквадратичное значение (14).

$G=100$ – коэффициент усиления INA, $V_{in_RTI}=50,85 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ – из выражения для «шума, приведённого ко входу», $f_H=3,5 \text{ кГц}$ при коэффициенте усиления равном 100, $k_n=1,57$ для функции первого порядка. Частотная полоса шумов будет:

$$BW_n = f_H \cdot k_n = 5,495 \text{ кГц}.$$

Среднеквадратичное значение выходного шума определяется выражением (13):

$$e_{n_out} = G V_{in_RTI} \sqrt{BW_n} = 376,9 \text{ мкВ эфф.} \quad (13)$$

Выражением (14) определяется двойной размах выходного сигнала:

$$e_{n_outPP} = 6e_{n_out} = 2,26 \text{ мВ}_{PP} \cdot (14)$$

Моделирование измерительного усилителя на трёх ОУ

Схема, изображённая на рисунке 10, может быть промоделирована в любом симуляторе SPICE. Texas

Instruments предлагает бесплатно загрузить TINA SPICE и модель INA333. Модель INA333 правильно моделирует шумы и большинство других интересующих параметров.

На рисунке 16 показана опция «noise analysis (анализ шума)», имеющаяся в TINA SPICE. Когда отмечено окно «Output Noise (выходной шум)», симулятор создаёт график спектральной плотности шума для каждой тестовой точки схемы. Когда отмечено окно «Total Noise (суммарный шум)», симулятор строит график для среднеквадратичного значения шумов (то есть график интегральной спектральной плотности мощности шума).

На рисунке 17 показан график смоделированной спектральной плотности для примера схемы в том виде, в котором он был создан в TINA SPICE с использованием опции «Output Noise». На рисунке 18 показан среднеквадратичный шум (корень квадратный из интегральной спектральной плотности мощности).

Отметим, что смоделированный и расчётный среднеквадратичный шум на рисунке 18 не совпадают точно (смоделированный=422 мкВ эфф., расчётный=377 мкВ эфф.). Для такого минимального расхождения имеется несколько причин. Во-первых, спектральная плотность для смоделированного результата несколько выше расчётной спектральной плотности. Во-вторых, полоса частот для результата моделирования несколько шире, чем полоса, взятая из спецификации. И, наконец, спад усиления симу-

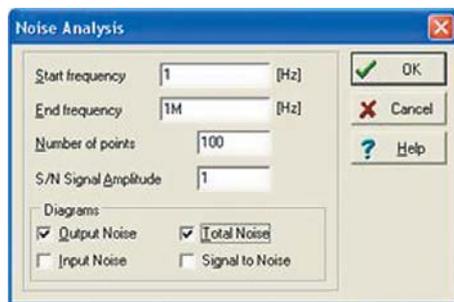


Рисунок 16. Опция анализа шума TINA

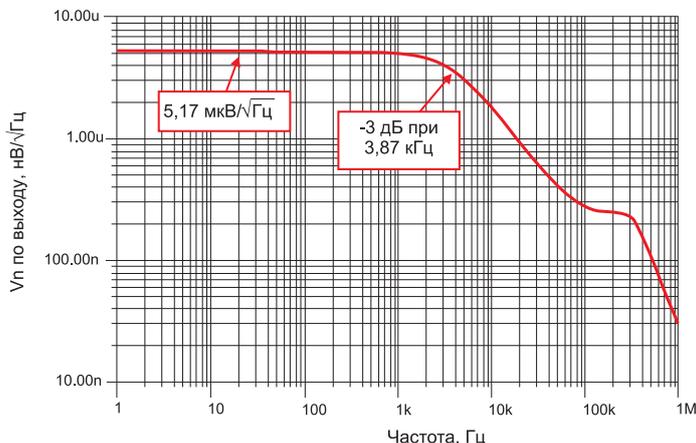


Рисунок 17. Спектральная плотность на выходе INA333 для примера схемы

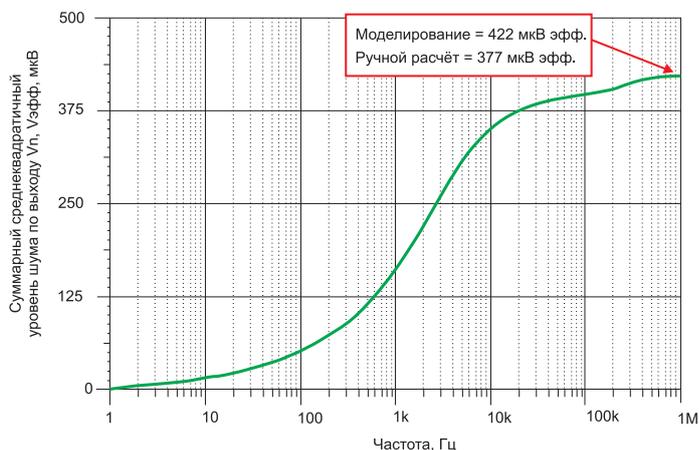


Рисунок 18. Среднеквадратичный выходной шум для примера схемы на INA333

Параметр	INA333			Ед. изм.
	Мин.	Тип.	Макс.	
Частотная характеристика				
G=1		150		кГц
G=10		35		кГц
G=100		3,5		кГц
G=1000		350		Гц

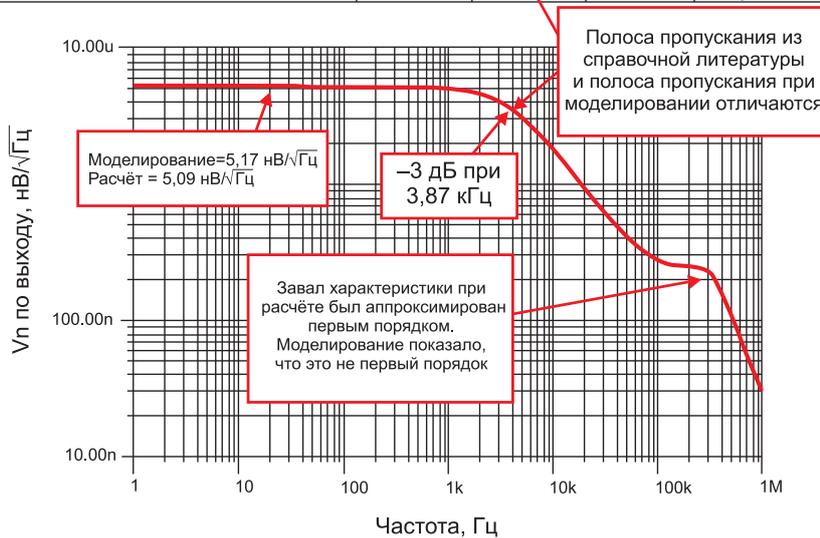


Рисунок 19. Сравнение результатов моделирования и ручного расчёта

лятора имеет выброс примерно на частоте 200 кГц. При ручном расчёте такой выброс не учитывается. Рисунок 19 иллюстрирует эти расхождения.

Разработчики часто беспокоятся, когда сталкиваются с расхождением результатов моделирования и ручного расчёта. В данном случае погрешность составляет около 10%. Данная погрешность при расчёте шума не является очень большой. Необходимо помнить, что в справочной литературе приводятся типовые характеристики, поэтому для реальных устройств возможна погрешность, превышающая 10%.

В данном примере ручной расчёт для ширины полосы и спектральной плотности на частотах ниже 1 кГц является более точным, чем результаты моделирования, поскольку используются данные непосредственно из руководства. Моделирование более точно повторяет данные спецификации в районе 200 кГц выброса на кривой спектральной плотности. В общем случае, расхождения такого порядка следует игнорировать.

Снижение шума с помощью схемы усреднения

Одним из способов снижения шума является соединение вместе входов нескольких усилителей и усреднение выходных сигналов с использованием схемы усреднения на ОУ. На рисунке 20 показана инвертирующая схема усреднения. Для реализации функции усреднения все входные резисторы ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_N$) должны иметь одинаковый номинал. Кроме того, номинал резистора обратной связи (R_f) должен быть равен номиналу входного резистора, поделённому на количество входных резисторов.

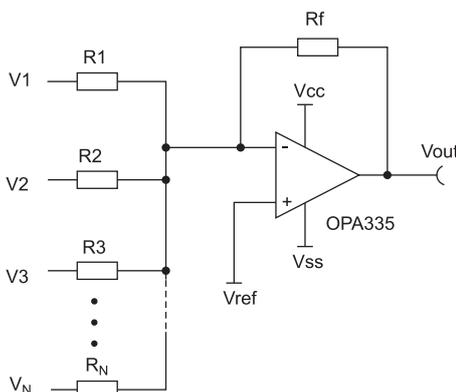


Рисунок 20. Схема усреднения на ОУ

$$V_{out} = V_{ref} - R_f \times \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_N}{R_N} \right). \quad (15)$$

Выбор для схемы усреднения $R_1=R_2=R_3=\dots=R_N=R$, $R_f=R/N$, тогда

$$V_{out} = V_{ref} - \frac{(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N)}{N}. \quad (16)$$

В выражении для выходного шума схемы усреднения математически показано, как схема усреднения снижает шум. Использование усреднения подразумевает, что источники шума одинаковы и независимы. Выходной шум представляет собой входной шум, поделённый на корень квадратный из количества усреднений:

$$V_{noise_output} = \sqrt{\left(\frac{V_{noise1}}{N} \right)^2 + \left(\frac{V_{noise2}}{N} \right)^2 + \dots + \left(\frac{V_{noiseN}}{N} \right)^2},$$

где $V_{noise1}, V_{noise2}, V_{noise3}, \dots, V_{noiseN}$ - источники шума. Если предположить, что $V_{noise1}, V_{noise2}, V_{noise3}, \dots, V_{noiseN}$ являются взаимно независимыми источниками шума, то получим

$$V_{noise_output} = \sqrt{N \left(\frac{V_{noise}}{N} \right)^2} = \sqrt{\frac{V_{noise}^2}{N}} = \frac{V_{noise}}{\sqrt{N}}. \quad (17)$$

На рисунке 21 показана практическая схема усреднения, использующая три усилителя INA333. Отметим, что в этом примере коэффициент усиления INA333 задан равным 1001 ($Gain=1+100 \text{ кОм}/100$). На рисунке также показано, как входы трёх усилителей соединяются между собой и как подключаются к схеме

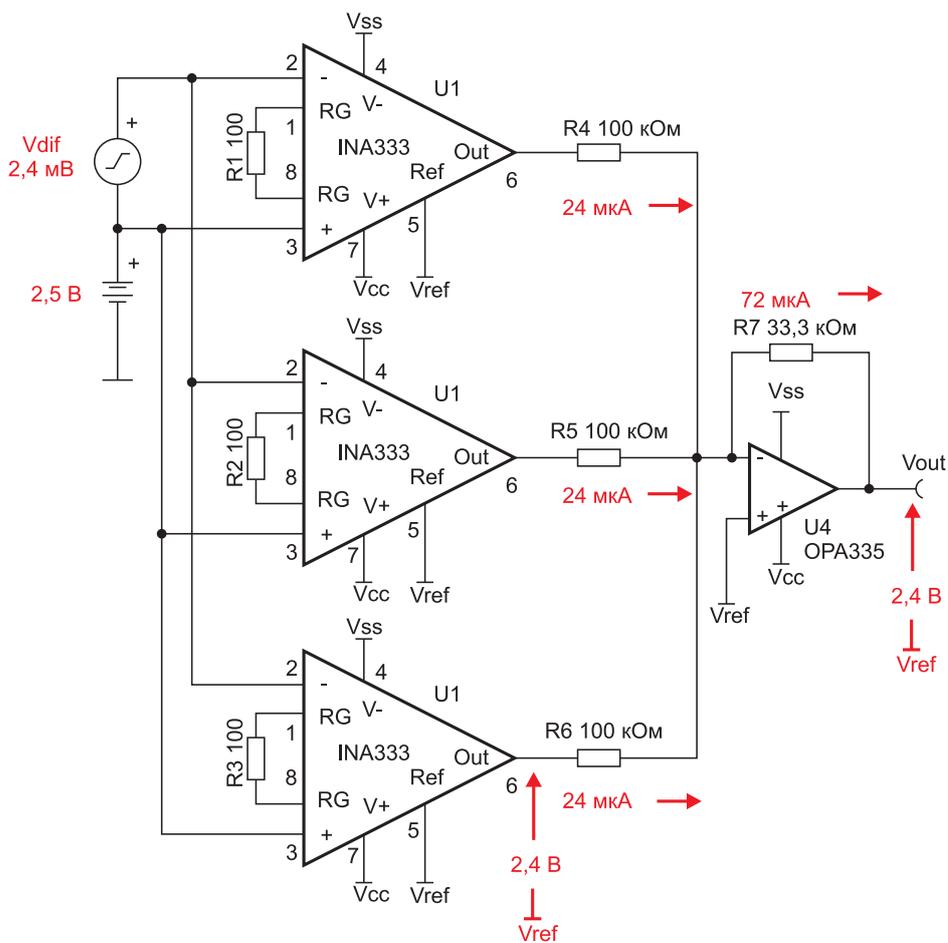


Рисунок 21. Схема усреднения для трёх ОУ INA333

усреднения выходы трёх INA333. Эта схема эффективно работает, как единый INA333 с уровнем шума, сниженным с коэффициентом $1/\sqrt{3}$. Отметим, что токовый шум по входам INA333 суммируется (корень квадратный из суммы квадратов). Таким образом, хотя эта схема и снижает напряжение шумов, она увеличивает токовый шум.

Номиналы R4, R5 и R6 выбираются таким образом, чтобы ограничить ток до приемлемого значения. INA333 и OPA335 представляют собой устройства с малым энергопотреблением, и необходимо обратить внимание на предотвращение протекания избыточного тока. Иногда разработчики выбирают минимальные номиналы для входных резисторов схемы усреднения, чтобы минимизировать шумы. Однако номинал резистора не влияет на общий шум, поскольку шум INA333 является преобладающим ($50 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}} \times 1000 = 50 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{Гц}}$). R7 выбирается

так, чтобы отмасштабировать коэффициент усиления для усреднения (например, $100 \text{ кОм} / 3 = 33 \text{ кОм}$).

На рисунке 22 показана макетная плата для проверки эффективности схемы усреднения. Количество усилителей для усреднения вы-



Рисунок 22. Схема, используемая для демонстрации влияния усреднения на уровень шумов

бирается с помощью перемычек. Коэффициент усиления измерительного усилителя устанавливается с помощью проходных резисторов. Целью являлось изготовить плату, достаточно гибкую для широкого спектра экспериментов. Использование перемычек и проходных компонентов приводит к значительному увеличению размеров печатной платы по сравнению с использованием компонентов только поверхностного монтажа. Размер важен, поскольку длинные связи более восприимчивы к посторонним шумам (например, 60 Гц, РЧ-помехам и т. п.).

На рисунке 23 показана зависимость суммарного выходного шума от количества усредняющих усилителей. Шум уменьшается приблизительно в соответствии с выражением

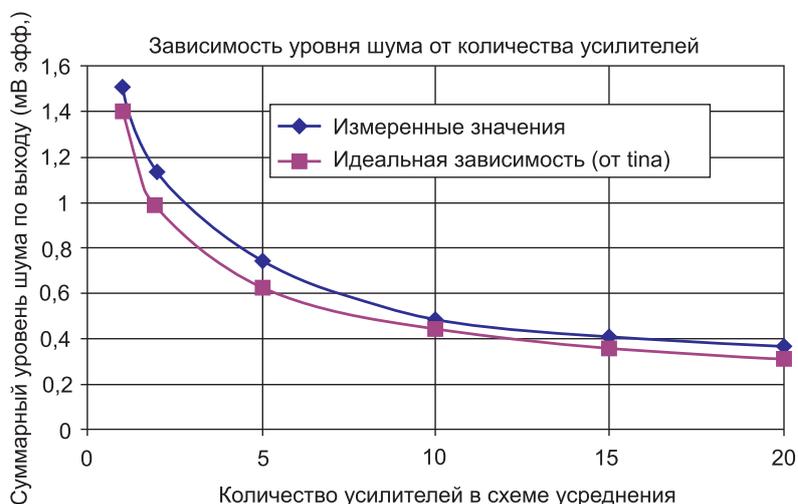


Рисунок 23. Зависимость уровня шума от количества усилителей INA333 в схеме

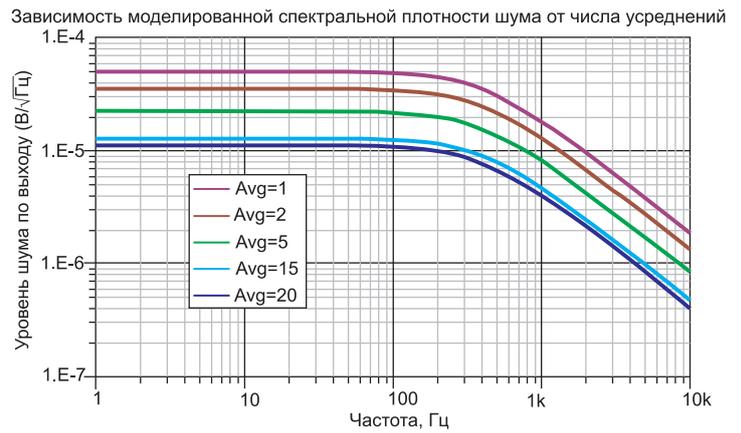
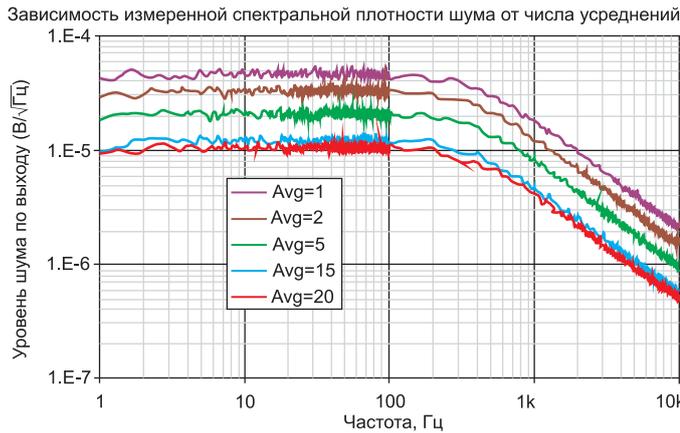


Рисунок 24. Зависимость спектральной плотности от числа усреднений

$V_{n_output} = V_{noise} / \sqrt{N}$. Отметим, что значительное снижение шума обеспечивается использованием схемы с четырьмя усилителями (например, четыре усилителя снижают шум наполовину ($1/\sqrt{4}=1/2$)). Использование большего числа усилителей приводит к дальнейшему снижению шума, но это может оказаться непрактичным из-за увеличения площади печатной платы, увеличения стоимости и сложности.

На рисунке 24 показаны измеренная и моделированная спектральные плотности шума для схемы усреднения на INA333. Измеренный и моделированный результаты тщательно сравнивались.

Заключение

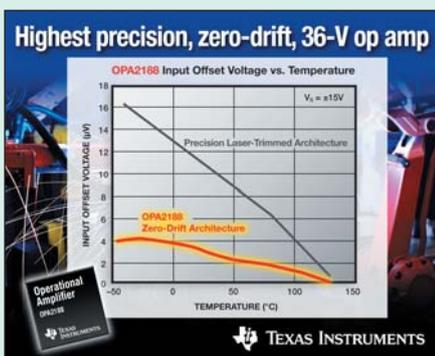
В данной статье обсуждались расчёт и моделирование шумов измерительного усилителя, а также рассматривалось использование схемы

усреднения для создания составного малошумящего усилителя.

Литература

1. Hann, Gina, "Selecting the right op amp (правильный выбор операционных усилителей)", Electronic Products Magazine, 21 ноября 2008 г.: www2.electronicproducts.com/Selecting_the_right_op_amp-article-factexas_nov2008.html.aspx

Усилитель OPA2188 для высокопрецизионных приложений с малым и большим напряжением питания



TI представила первый в отрасли операционный усилитель с нулевым дрейфом и питанием 36 В. По сравнению с продукцией конкурентов двухканальное устройство OPA2188 позволяет достичь 4-кратного снижения дрейфа напряжения смещения, 60-процентного снижения начального напряжения смещения и вдвое увеличить полосу частот при том

же потреблении питания. OPA2188 можно использовать, например, для испытательного или измерительного оборудования, электронных весов, медицинских инструментов и расходомеров. OPA2188 объединяет фирменную технологию нулевого дрейфа от корпорации TI с технологией высокоточных процессов при напряжении 36 В, предоставляя разработчикам аналоговых устройств простой и удобный способ осуществления измерений с заданным уровнем точности в высоковольтной среде.

Основные характеристики и преимущества:

- Архитектура с нулевым дрейфом 0,03 мкВ/°C снижает потребность в последующей калибровке системы.
- Начальное напряжение смещения 25 мкВ позволяет осуществлять измерения с использованием датчика с наивыс-

шим разрешением среди датчиков подобного класса.

- Обеспечение полосы частот 2 МГц при потреблении тока покоя 475 мкА, что позволит достичь ещё более высоких уровней точности при использовании портативных медицинских устройств.
- Низкий уровень шума 8,8 нВ/√Гц для систем высокой точности.
- Диапазон синфазного входного напряжения на 1,5 В по абсолютной величине меньше отрицательного напряжения питания; и до величины положительного напряжения позволяет обойтись без дополнительной схемы при работе от однополярного питания 5 В.

TI предлагает множество инструментов и видов поддержки для ускоренной разработки устройств с прибором OPA2188.

www.ti.com/opa2188-preu

Билл Швевбер (Bill Schweber)

Устройство MEMS TMP006 кардинально меняет схему инфракрасного бесконтактного измерения температуры потребительских изделий

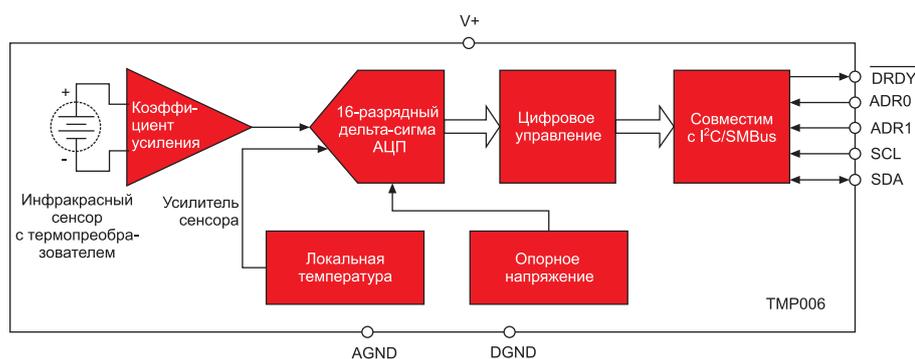


Рисунок 1. Блок-схема TMP006

Вам необходимо измерить температуру микросхемы, печатной платы или корпуса? Не проблема: можно использовать любой из многих доступных методов: с помощью сенсоров — термопар, термометров сопротивления, термисторов, диодов или сенсоров, основанных на интегральных микросхемах, в сочетании с соответствующей схемой формирования сигнала, если это необходимо. Ну а если вам необходимо измерить температуру без физического контакта с объектом? Это уже более сложная задача, поскольку вам, скорее всего, придётся использовать инфракрасный детектор (обычно это термопреобразователь) плюс специализированный канал формирования сигнала для него. Это устройство сравнительно велико по размерам, потребляет много энергии и недёшево стоит. Однако теперь следует говорить иначе: «Раньше это была бы более сложная задача». Корпорация Texas Instruments утверждает, что созданный ею прибор TMP006 (рисунок 1) — первый в мире пассивный инфракрасный датчик температуры на одной микросхеме, с встроенным сенсором термопреобразователя MEMS, каналом

формирования сигнала, 16-битным аналого-цифровым преобразователем, локальными референсными датчиками температуры и напряжения и цифровым интерфейсом — всё это на одной цельной микросхеме 1,6×1,6 мм.

Сферы применения: портативные и потребительские электронные устройства — например, мобильные телефоны, планшеты, датчики газа и другие ситуации, где необходим замер температуры — наиболее часто измеряемого физического параметра.

TI утверждает, что TMP006 на 95% меньше аналогичных устройств конкурентов. Энергопотребление его составляет всего 240 мкА в состоянии покоя и 1 мкА в спящем режиме, что

на 90% меньше, чем у любых существующих аналогов. Новое устройство снабжено как цифровым интерфейсом I²C, так и SMBus. Разумеется, когда речь заходит об измерении температуры, важны также измерительный диапазон и точность. TMP006 работает в диапазоне от -40 до $+125$ °C, стандартная точность составляет ± 1 °C для пассивного датчика и $\pm 0,5$ °C — для локального. Инфракрасное измерение имеет свои преимущества даже в ситуации, когда такой метод не является необходимым. К примеру, если схема Вашей печатной платы должна определять температуру корпуса, сенсор можно поместить в самую нагревающуюся точку. Но такой подход зачастую непрактичен, труден в реализации и неудобен в работе. Либо можно поместить сенсор возле процессора или же вовсе положить на встроенный датчик последнего и рассчитывать приблизительную температуру корпуса по соотношению температуры между сенсором и корпусом.

Инфракрасный сенсор можно поместить непосредственно на печатную плату, как любую микросхему, и считывать пассивную инфракрасную энергию с корпуса (рисунок 2). Этот подход намного проще в смыс-

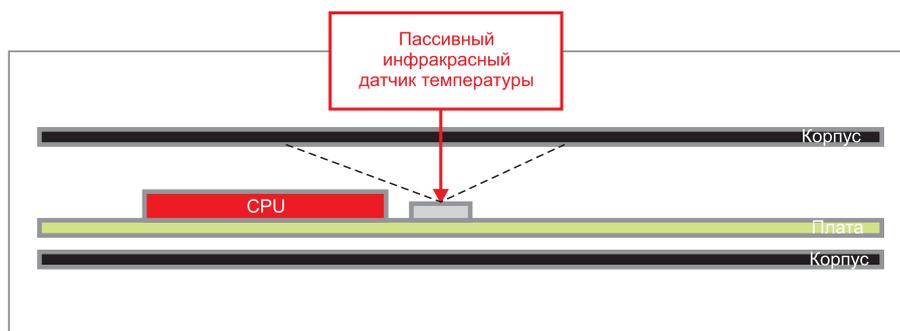


Рисунок 2. Измерение отражённой тепловой энергии



Рисунок 3. Тестовый модуль TMP006

ле физической разводки платы и её сборки. Кроме того, он позволяет определять и внешнюю температуру корпуса.

TMP006 (рисунок 3) является инфракрасным сенсором с термопреобразователем и встроенной схемой цифрового выхода. Устройство позволяет измерить температуру объекта без физического контакта с ним, что делает его идеально пригодным для применения во многих сферах человеческой деятельности.

Устройство TMP006EVM представляет собой платформу для тестирования работы TMP006 в различных условиях. Устройство

TMP006EVM состоит из двух печатных плат. Одна из них, SM-USB-DIG, осуществляет обмен данными с компьютером пользователя, обеспечивает подачу питания, а также отправляет и принимает соответствующие цифровые сигналы в рамках обмена информацией с TMP006. Вторая плата, TMP006_Test_Board, содержит собственно TMP006, а также схемы поддержки и конфигурирования. Графический интерфейс модуля содержит полные расчёты температуры объекта, дающие пользователю возможность провести с помощью TMP006EVM тестовые измерения.

Комплект содержит:

- Тестовую плату TMP006EVM
- Контроллер платформы SM-USB-DIG
- Удлинительный кабель USB
- Удлинительный кабель ленточного типа
- Компакт-диск с программным обеспечением.

Характеристики:

- Специальная разводка печатной платы для TMP006
- Расчёты температуры объекта с помощью TMP006
- Необходимые схемы поддержки
- Удлинительный кабель для подключения к системе пользователя

Теория работы тестовой платы TMP006

Блок-схема аппаратной настройки тестовой платы TMP006 приведена на рисунке 4.

Тестовая плата TMP006 содержит соединения питания, интерфейсы сигналов I²C, SPI и GPIO от платы SM-USB-DIG. Плата также снабжена разъёмом, позволяющим подключить к тестовой плате TMP006 другие платы для калибровки TMP006.

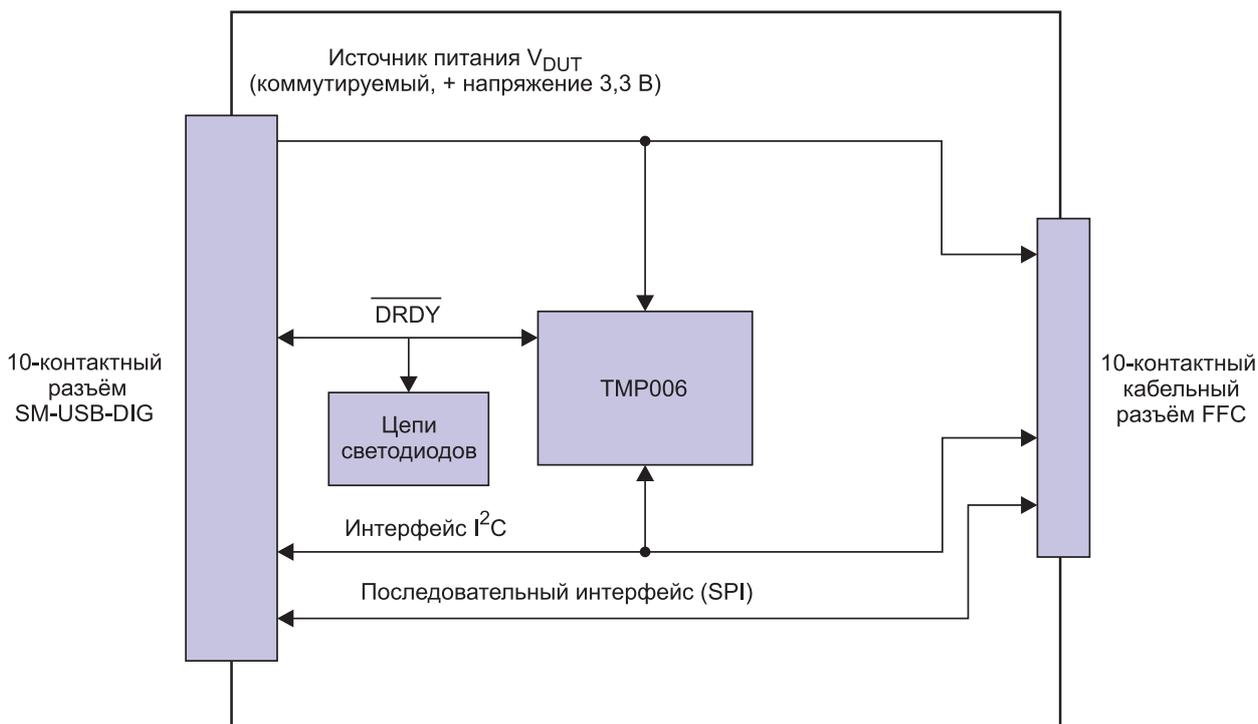


Рисунок 4. Структурная схема платы TMP006EVM

Кулер Михаэль (Couleur Michael)

Технология понижающих преобразователей переходит от 3 к 6 МГц. Как это стало возможным?

Введение

Новое семейство понижающих преобразователей Texas Instruments, работающих на частоте 6 МГц (рисунок 1), позволяет реализовать лучшее в своём классе решение для понижающих стабилизаторов напряжения, при этом размеры устройства уменьшаются на 50% по сравнению с предыдущим поколением преобразователей, работавших на частоте 3 МГц. Это оказалось весьма востребованным в современных смартфонах и приложениях, где проблема экономии места, занимаемого устройствами, стоит остро как никогда.

Уменьшение размера данного изделия является результатом трёхлетней работы, которая привела к появлению на рынке семейства миниатюрных понижающих преобразователей, чья миниатюризация не нанесла ущерба каким-либо другим основным параметрам, в частности, КПД.

Необходимость перехода на высокие частоты вызвана желанием уменьшить занимаемую схемой площадь

Чтобы уменьшить площадь, занимаемую схемой, промышленность подталкивает производителей микросхем к разработке изделий, рассчитанных на меньшие размеры навесных компонентов, а производителей навесных компонентов – к уменьшению размеров их изделий. В рамках этого процесса происходит переход на меньшие номиналы конденсаторов на входе и выходе, а также индуктивности выходно-

го фильтра, обычно используемых в автономных понижающих преобразователях с 10 мкФ и 1,5 мкГн (для поколения устройств, работающих на частоте 3 МГц) до 2 мкФ и 0,7 мкГн для устройств, работающих на частоте 6 МГц.

Использование маленьких навесных компонентов имеет свои недостатки, поскольку они дают меньшие возможности фильтрации как на входе, так и на выходе преобразователей. Чтобы не увеличивать размах пульсаций входного напряжения, наблюдаемый при ненулевом внутреннем сопротивлении аккумулятора, а также пульсации выходного напряжения, необходимо повысить рабочую частоту, чтобы сохранить постоянным подавление пульсаций, обеспечиваемое фильтрующими элементами. Этим соображением, касающимся фильтрации, и продиктован переход данной технологии с частоты 3 МГц на частоту 6 МГц.

Препятствия на пути к высокоэффективным решениям

Импульсным преобразователям присущи потери мощности вследствие выполняемых в них операций

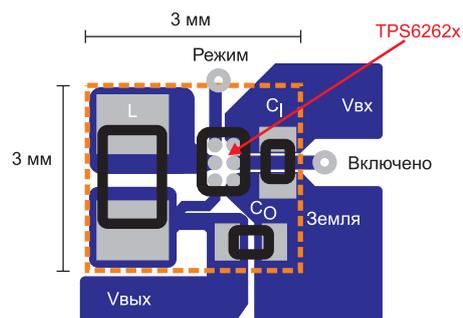


Рисунок 1. Понижающий преобразователь Texas Instruments, работающий на частоте 6 МГц, TPS6262x: размер и компоновка

коммутации. Эти потери, которые вносят наибольший вклад в снижение КПД, бывают трёх типов:

- Первыми и наиболее важными являются емкостные потери (рисунок 2) в ёмкостях «затвор-исток» на выходе полевых транзисторов, которые должны заряжаться и разряжаться один раз за цикл. Классически они выражаются как величина заряда, запасаемого во всей ёмкости затвора, умноженная на частоту и входное напряжение, и, таким образом, эти потери пропорциональны частоте коммутации:

$$P_{\text{cap}} = Q_{\text{cap}} \times f = C_{\text{gate}} \times V_{\text{in}}^2 \times f,$$

где C_{gate} – общая ёмкость затвора, V_{in} – напряжение аккумулятора, а f – частота коммутации.

- Вторым типом являются потери, обусловленные прохождением тока в диоде защиты затвора выходного полевого транзистора от перекрёстной проводимости в течение «мёртвого» времени между включением и отключением. Диоды затвора проводят ток один раз за цикл, и эти потери, таким образом, пропорциональны частоте. Они рассчитываются следующим образом:

$$P_{\text{diode}} = V_{\text{diode}} \times I_{\text{load}} \times t_{\text{dead}} / T = V_{\text{diode}} \times I_{\text{load}} \times t_{\text{dead}} \times f,$$

где V_{diode} – обратное напряжение диода затвора, I_{load} – выходной ток, t_{dead} – «мёртвое» время, а T – период коммутации.

- Третьим типом являются потери, связанные с операцией коммутации в выходном полевым транзисторе. В течение времени, когда выходные полевые тран-

зисторы включаются и выключаются, большая часть выходного тока вынуждена протекать через непользованные замкнутые/разомкнутые ключи с намного большим сопротивлением, что создаёт потери мощности в течение времени переключения. Эти потери трудно выразить аналитически, но они в первую очередь пропорциональны входному напряжению, выходному току и времени переключения. Поскольку это переключение происходит один раз за цикл, эти потери мощности, естественно, также возрастают с повышением частоты.

Из описания этих трёх механизмов возникновения потерь можно сделать вывод о том, что повышение частоты коммутации с 3 МГц до 6 МГц удвоит эти потери мощности и снизит КПД.

Совершенствование изделия, сохраняющее на приемлемом уровне его КПД при работе на высокой частоте

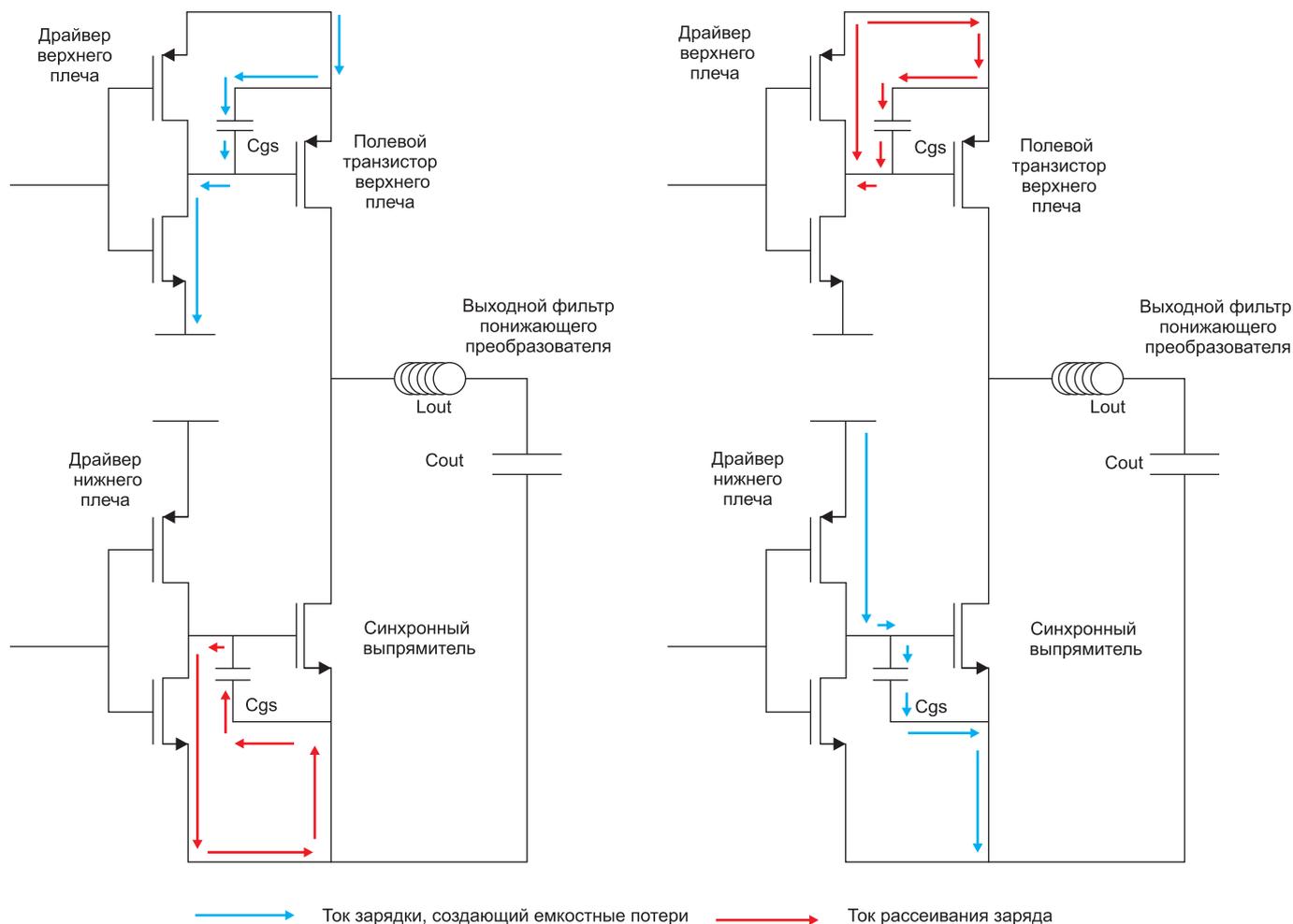
Необходимо усовершенствовать конструкцию изделия, чтобы сохранить КПД на приемлемом уровне, несмотря на то, что повышение частоты коммутации ведёт к его снижению, увеличивая влияние трёх вышеуказанных типов потерь.

Первое усовершенствование появилось с новым поколением корпусов – Wafer Chip Scale Package (корпуса размером с кристалл, выполняемые на стадии обработки пластины), которые имеют намного меньшую паразитную индуктивность в местах контакта кристалла и печатной платы. Обычно эти паразитные индуктив-

ности составляли от 5 нГн в случае старых корпусов типа QFM (плоские корпуса с четырёхсторонним расположением выводов) до значений менее 1 нГн в случае современных корпусов размерами с кристалл (Chip Scale package). Ток коммутации, протекающий через выходные полевые транзисторы, создаёт большие электрические шумы в резонансных контурах, образующихся между паразитными индуктивностями и выходными ёмкостями силовых выводов. Этот шум может повредить схему, если его амплитуда будет выше абсолютного значения номинального напряжения кристалла, и он является источником нежелательных электромагнитных помех (ЭМП) в устройствах, поэтому его необходимо контролировать. Амплитуда шума, генерируемого в паразитном резонансном контуре, сильно зависит от скорости коммута-

Включение полевого транзистора верхнего плеча, выключение синхронного выпрямителя

Выключение полевого транзистора верхнего плеча, включение синхронного выпрямителя



→ Ток зарядки, создающий емкостные потери → Ток рассеивания заряда

Рисунок 2. Ток, протекающий в ёмкостях Cgs и выходного каскада преобразователя, создающий емкостные потери

ции выходных полевых транзисторов. Меньшие паразитные индуктивности силовых выводов позволяют иметь более крутые передние и задние фронты в системе, при этом уровень шума остаётся таким же, как в системах предыдущих поколений. Более высокие скорости коммутации выходных полевых транзисторов, используемые в семействе устройств с частотой 6 МГц, уменьшают потери

КПД, которые вносит механизм коммутации, и компенсируют увеличение потерь мощности, обусловленное повышением частоты.

Потери в обратном диоде затвора также не остались без внимания. Применение более рациональной технологии «выключения перед выключением» сократило время паузы, в течение которого и происходят эти потери, с 5 до 2 нс. При переходе

от 3 к 6 МГц эти потери происходят вдвое чаще, но длятся не 5, а 2 нс благодаря усовершенствованиям конструкции, что оставляет общие потери примерно одинаковыми при переходе от одного поколения к другому.

Решение проблемы емкостных потерь было достигнуто за счёт использования в выходном каскаде в качестве проходного полевого транзисто-



Вид напряжения на выводе SW и тока в индуктивности. Приемлемый уровень шума на выводе ключа

Передний фронт сигнала на выводе SW

Передний фронт — 1 нс

Пауза — 1,4 нс

Задний фронт сигнала на выводе SW

Задний фронт — 1,3 нс

Пауза — 1,4 нс

Рисунок 3. Длительности переднего и заднего фронтов на выводе SW-устройства TPS6262x

Выходной каскад с полевым транзистором р-типа

Выходной каскад с полевым транзистором n-типа

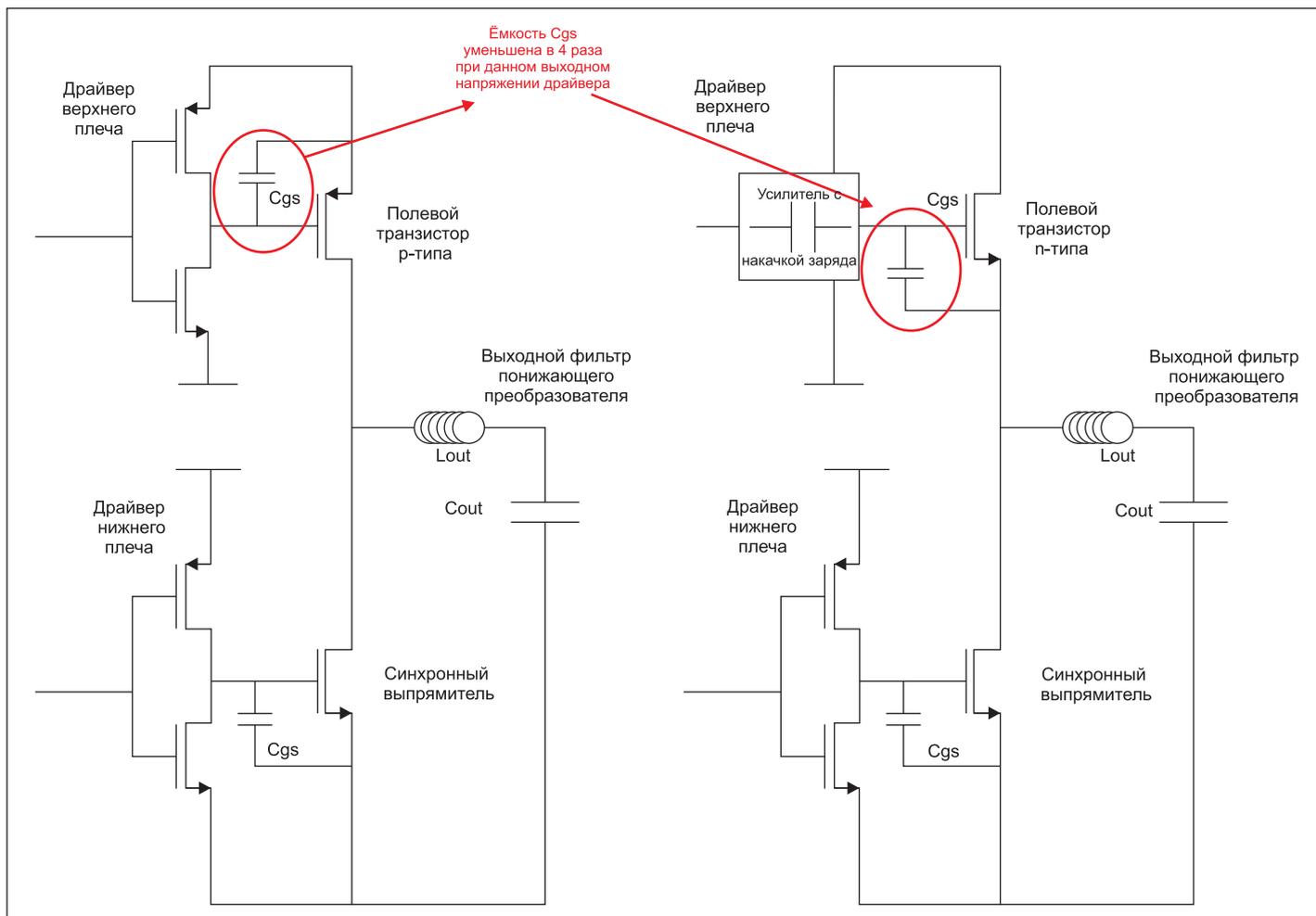


Рисунок 4. Использование проходного полевого транзистора n-типа вместо транзистора p-типа для уменьшения ёмкости затвора

ра n-типа вместо транзистора p-типа. Включение и выключение транзистора n-типа требует более сложной схемы. Но полевые транзисторы n-типа меньше полевых транзисторов p-типа при одном и том же сопротивлении включения, что уменьшает соответствующую ёмкость затвора (рисунок 4), создающую емкостные потери мощности. Этим компенсируется увеличение емкостных потерь вследствие повышения частоты.

Заключение

Совершенно новое поколение понижающих преобразователей корпорации Texas Instruments, работающих на частоте 6 МГц, демонстрирует КПД, сравнимый (для TPS6262x/TPS6265x) или, в случае последней разработки (TPS6267x), превосходящий показатели устройств предыдущего поколения, работавшего на частоте 3 МГц. Инженеры, использующие

эти высокоэффективные микросхемы и остановившие свой выбор на семействе изделий, работающих на частоте 6 МГц, которое теперь охватывает весь диапазон выходных

токов и различные области применения, могут добиться того уменьшения размеров схемы, которое им нужно, причём не в ущерб сроку службы аккумулятора.

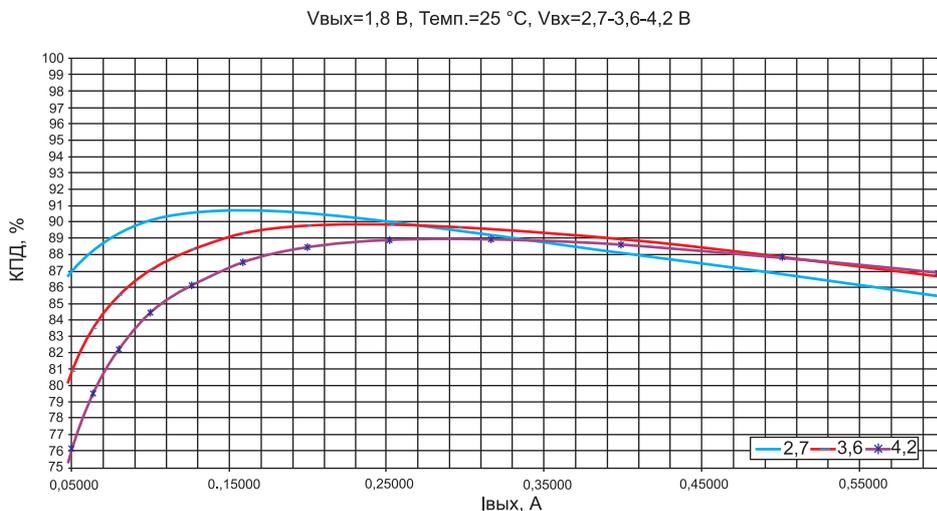


Рисунок 5. КПД в режиме ШИМ для последнего поколения устройств, работающих на частоте 6 МГц: TPS6267x

Дзюба С. В., технический директор компании «Пламкернел»

SoM-модуль на базе двухъядерного процессора TMS320C6A8168 Integra

По мере развития встраиваемых аппаратных систем предъявляются всё более жёсткие требования к производительности центрального процессора. Однако замена только процессора на плате-носителе не всегда возможна. Часто приходится разрабатывать плату заново. Это, с одной стороны, сопряжено с рисками экономических потерь, поскольку процессорная часть является одной из самых сложных в проектировании. Сложность вызвана наличием высокочастотного интерфейса внешней памяти, наличием BGA-корпусов, требований к малым размерам печатных плат. С другой стороны, цикл разработки конечного изделия может затянуться. Данные причины могут снизить экономическую эффективность проекта, а в ряде случаев изделие может оказаться устаревшим на момент его выхода на рынок.

В настоящее время наблюдается подъём и развитие технологии модульного построения сложных аппаратных систем SoM (System on Module) – система на модуле. Данный подход предполагает разработку основной конструкции отдельно от процессорного модуля. При наличии готового модуля разработчику встраиваемой системы требуется лишь обеспечить его встраивание в базовую (материнскую) плату.

Санкт-петербургская компания «Пламкернел» (www.plumkernel.com) разработала и провела испытания SoM-модуля на базе двухъядерного процессора TMS320C6A8168 Integra (взаимозаменяем с TMS320DM8168). На сегодня неизвестны другие российские аналоги на базе указанного процессора.

Данный процессор имеет множество интерфейсов (рисунок 1).

На плате SoM реализованы все необходимые цепи для работы процессора. Количество выведенных на разъёмы интерфейсов полностью совпадает с количеством интерфейсов, имеющихся на процессоре. Разработчику не требуется без необходимости разрабатывать сложную процессорную часть платы под каждое новое устройство.

Основные характеристики модуля:

- Процессор TMS320C6A8168:
 - до 1500 МГц ARM® Cortex™-A8 ядро,
 - до 1500 МГц DSP C6747 ядро,
 - On-Chip RTC.
- Внешняя память до 1 Гбайт DDR2-800.
- Выведенные интерфейсы. На соединительные разъёмы модуля выведены все интерфейсы, за исключением 3 выводов общего назначения:

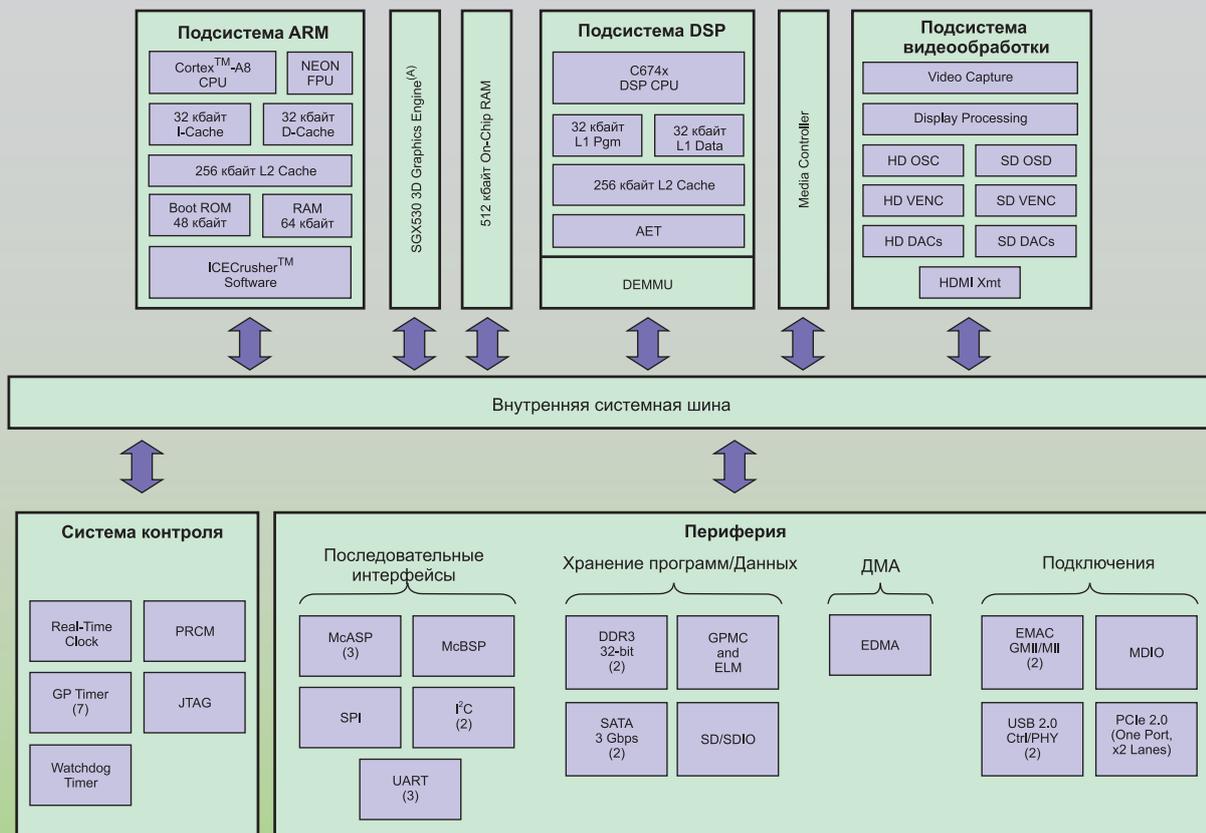


Рисунок 1. Внутренняя структура процессора TMS320C6A8168

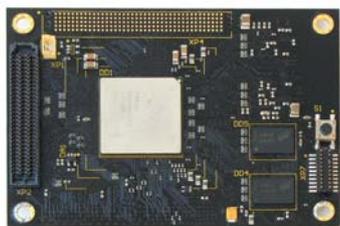


Рисунок 2. SoM-модуль. Вид сверху



Рисунок 3. SoM-модуль. Вид снизу

2×USB, 2×EMAC, 2×SATA, MMC/SD, 2×I²C, 3×McASP, McBSP, SPI/HDMI/TX, 2 VIN, 3 VOUT, 3 HDDAC, 4 SDDAC, PCIe×2, GPIO, UART, EMIF, GPMC, основное питание: +1,0 В_AV_S, +1,0 В, +1,8 В, 3,3 В, +5,0 В, JTAG.

- Питание модуля. Основное питание (+1,0 В_AV_S, +1,0 В, +1,8 В, 3,3 В) подаётся через соединительные разъёмы от материнской платы. На плате SoM реализованы цепи дополнительного аналогового питания.
- Программная поддержка. DSP/BIOS, Linux, Board support package (BSP).
- Габариты 100×70 мм. Функционально модуль включает в себя:
 - Процессор
 - Цепи, обеспечивающие работу процессора
 - Внешнюю память DDR2 (два 32-разрядных EMIF)
 - Переключатель настройки конфигурации процессора
 - Разъём для питания внешнего вентилятора
 - JTAG-разъём
 - До 3 соединительных разъёмов для подключения к материнской плате
 - До 2 соединительных разъёмов для подключения дополнительных плат расширения модуля.

Для взаимодействия с внешними платами модуль имеет в своём составе до 5 соединительных разъёмов. Два из них расположены в верхней части, остальные три в нижней части платы. Верхние предназначены для установки дополнительных дочерних плат на SoM-модуль. На эти разъёмы выведены все видеоинтерфейсы. Также на них выведены все интерфейсы контроллера процессора GPMC и мультиплексированные с ними. Эти интерфейсы также входят в состав разъёмов, расположенных внизу платы. Нижние соединительные разъёмы предназначены для соединения с материнской платой. Они содержат в своём составе все имеющиеся на процессоре интерфейсы, а также выводы питания.

Специально для модуля была разработана материнская плата с выводом основных интерфейсов процессора. Разработанная материнская плата позволяет вывести интерфейсы SoM-модуля на собственные разъёмы материнской платы, а также обеспечивает питанием SoM-модуль. Наличие дополнительных разъёмов в верхней части платы позволяет использовать платы расширения к SoM-модулю. Разработчик может использовать готовые дочерние платы, имеющиеся на момент разработки, что позволяет заказчику из полного набора готовых плат расширения выбрать необходимую. При этом сохраняется возможность расширения системы в дальнейшем. Использование дочерних плат позволяет увеличивать габариты разрабатываемых изделий не в ширину, а в высоту.

Основными достоинствами модуля являются:

- Небольшие размеры фактора – 100×70 мм.
 - Модуль снабжён разъёмами, позволяющими его расширить сверху. Возможность увеличения габаритов не в ширину, а в высоту.
 - Использование пространства для размещения компонентов под модулем на материнской плате.
 - Крепление радиатора на процессор прижимным держателем.
 - Использование надёжных элементов и качественных материалов.
- SoM-модуль можно рассматривать как технологический кубик

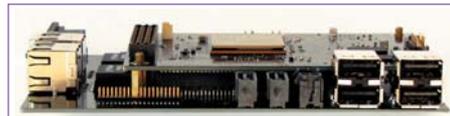


Рисунок 4. SoM-модуль в составе материнской платы. Вид сбоку



Рисунок 5. SoM-модуль в составе материнской платы. Вид сверху

общей сложной системы. Сегодня очевидна тенденция к использованию данных элементов в качестве строительного материала независимо от области применения. Встраивание некоего универсального кубика обеспечивает интерес со стороны разработчиков изделий из разных областей применения. Среди них могут быть:

- Системы машинного зрения, распознавания, визуальный анализ и контроль.
- Системы безопасности.
- Обработка изображений в медицине.
- Контрольно-измерительные приборы.
- Системы слежения и автоматического управления.
- Устройства релейной защиты в энергетике.

Модульная разработка оборудования позволяет существенно сократить объём и сроки конструкторских работ, повышает качество и надёжность оборудования вследствие использования уже готовых и оттестированных модулей. Модульное проектирование на базе типовых модулей минимизирует эффект внесения изменений при модификации систем. Одно из преимуществ модульного проектирования состоит в том, что компоненты системы могут быть протестированы отдельно друг от друга.

Дополнительную информацию смотрите на сайте компании «Пламкернел» www.plumkernel.com

MexBIOS Development Studio – инструмент для быстрой разработки встроенного программного обеспечения микроконтроллеров

Современный рынок диктует свои требования к надёжности, срокам разработки и вывода на рынок цифровых систем управления для технологического оборудования (системы управления электроприводами, приборы измерений, системы автоматизации и т. д.). Здесь ключевую роль играет квалификация разработчиков, задействованных в проекте, а также сложность реализации поставленной задачи, как на аппаратном, так и на программном уровне, особенно если ведётся разработка нового устройства или применена новая элементная база, например микроконтроллеры из новейшей линейки, богатого опыта работы с которыми у разработчика нет.

Решение задачи быстрой разработки программного обеспечения может быть достигнуто при использовании специализированной среды визуального проектирования программного обеспечения MexBIOS™ Development Studio [1]. В основе данного продукта лежит технология MexBIOS, созданная отечественной компанией «НПФ Мехатроника-Про» (г. Томск). Основные положения технологии MexBIOS следующие:

- Позволяет преобразовать стандартный микроконтроллер в чип с конфигурируемым порядком запуска встроенных функций и обмена данными между входами/выходами этих функций.
- Предлагает создавать программное обеспечение для встроенных систем из набора готовых функций: элементов логики и математики, регуляторов, драйверов и др. Функции объединены

в библиотеки Processor Library, которые индивидуальны для каждого типа микроконтроллеров. Прилагаются шаблоны, реализующие законченные решения для наиболее распространённых систем управления.

- Функции представлены в виде графических блоков с входами/выходами, создание приложений осуществляется методом графического проектирования блок-схем в среде MexBIOS™ Development Studio.
- Помимо встроенных стандартных функций, ориентированных на системы управления, пользователь может добавить свои специальные функции в Processor Library для применения в таких областях, как медицина, аудио- и видеобработка, коммуникации и т. д. Для простоты добавления блоков и создания собственных пользовательских библиотек предлагается пошаговый конструктор блоков BlockBuilder.
- Блоки библиотеки Processor Library, выполняющиеся в микроконтроллере, компилируются стандартными средствами разработки, что обеспечивает максимальную скорость исполнения. Допускается создание блоков на языке C и на ассемблере. Созданные из блоков библиотеки заносятся в память программы микроконтроллера стандартными средствами перепрограммирования флеш-памяти. Одновременно при этом в микроконтроллер заносится система исполнения задач MexBIOS kernel.
- Система исполнения задач MexBIOS kernel, запускающая функции библиотеки согласно блок-схеме, может быть вызвана из существующих проектов пользователя за счёт введения в него соответствующего вызова запуска MexBIOS kernel. В качестве примеров прилагаются готовые «стартовые проекты» пользователя для различных типов микроконтроллеров, демонстрирующие вызов MexBIOS kernel. Реализован простой механизм обмена данными между переменными «стартового проекта» и функциями Processor Library.
- Технология позволяет предварительно промоделировать работу собранной блок-схемы за счёт использования большого количества моделей объектов управления из библиотеки Model library. Пользователь может либо использовать готовые модели объектов управления, либо добавлять собственные модели, в том числе импортировать их из среды Matlab/Simulink.
- MexBIOS™ Development Studio обеспечивает загрузку и отладку блок-схемы по последовательному каналу связи (например, USB-PC – SCI MCU/DSP). Технология поддерживает отладку за счёт визуализации состояния отслеживаемых переменных, поддерживает вывод графиков наблюдаемых переменных. Допускается параллельная одновременная отладка «стартового проекта» через JTAG-интерфейс. Генерируемые при отладке данные могут быть переданы другим приложениям Windows.



Рисунок 1. Внешний вид платы Multi-Axis DMC EVM с модулем управления

- Технология позволяет создать для чипа готовый протокол связи по каналу SCI с внешними устройствами. В протоколе можно задать адреса требуемых для обмена переменных. Прилагаемые схемотехнические решения показывают способ сохранения блок-схемы во внешнюю микросхему EEPROM.
- Допускается создание логических систем управления методом StateFlow (выделение логических состояний, определение действий для каждого состояния и событий смены состояний).

В качестве демонстрации возможностей среды MexBIOS™ Development Studio рассмотрим пример создания программы управления синхронным электродвигателем на базе комплекта Multi-Axis DMC EVM и 32-битного микроконтроллера серии Piccolo C2000 производства TI (рисунок 1).

Перед началом работы необходимо загрузить стартовый проект и библиотеку процессора с системой исполнения задач в микроконтроллер через JTAG-интерфейс. После чего в среде MexBIOS™ Development Studio открыть палитру библиотеки с перечнем функций управления для данного микроконтроллера [2]. Для микроконтроллеров серии Piccolo предусмотрена библиотека TMS320F2803x.

При первом запуске среды отображается окно, приведённое на рисунке 2. Окно среды условно разделено на несколько частей:

- Верхняя панель – содержит элементы навигации и управления проектом, запуска симуляции и эмуляции, работы с удалённым ПК посредством технологии Клиент – Сервер.
- Палитра – содержит базовые блоки, которые не зависят

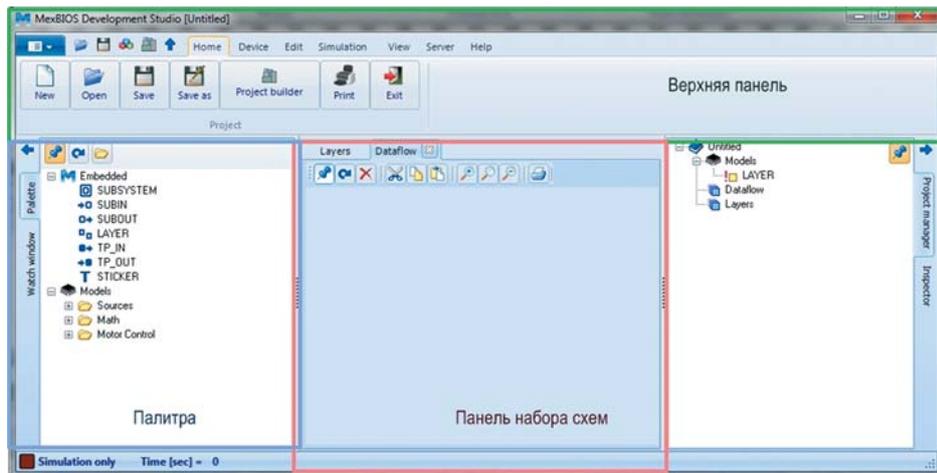


Рисунок 2. Окно MexBIOS Development Studio при первом запуске

- от типа подключаемого микроконтроллера, а также блоки группы Models, предназначенные для моделирования различных технологических объектов (электродвигатели, генераторы сигналов и т. д.).
- Панель набора схем – рабочее поле для визуального набора блок-схем программы управления.
- Панель Inspector – предназначена для ввода параметров блоков, которыми будет инициализироваться блок при перезагрузке или включении микроконтроллера.
- Панель Project Manager – служит для быстрой навигации по проекту.
- Watch Window – предназначена для отображения и редактирования переменных в виде таблицы, а также задания адресов требуемых переменных для протокола обмена.

Управление светодиодом

Приступая к созданию проекта, наиболее целесообразно предварительно проверить работоспособность программно-аппаратной платформы, собрав простейшую схему управления светодиодным индикатором на отладочном модуле с микроконтроллером Piccolo (рисунок 3). Приведённая схема выполняет функции мигания светодиодом с разрешением от виртуальной кнопки (блок IN1). Рассмотрим принцип её работы: логическая единица с выхода блока IN подаёт сигнал разрешения на запуск симметричного импульсного генератора, его выходной сигнал отображается на графике блока OUT1. После этого он поступает на дискретную ножку микроконтроллера GPIO только после получения сигнала раз-

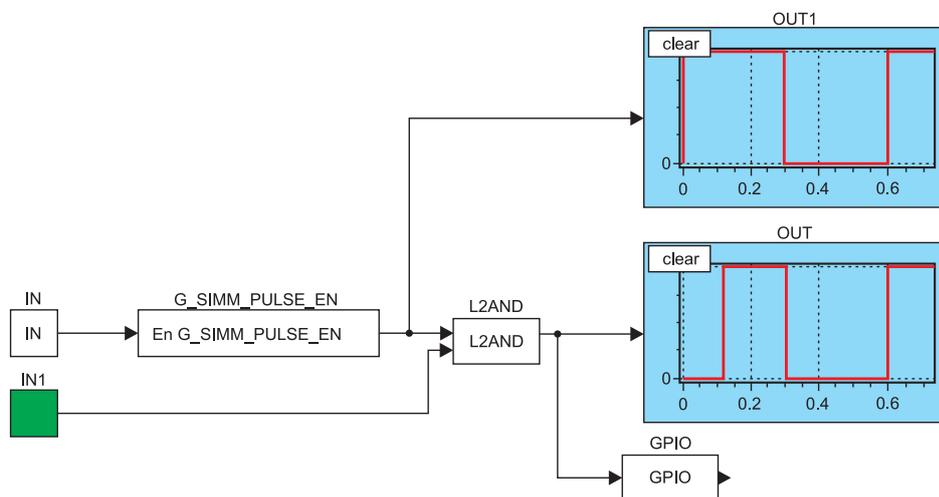


Рисунок 3. Схема управления светодиодным индикатором

Design	
Name	GPIO1
Left	290
Top	20
Width	60
Height	30
BrushColor	0xFFFFFFFF
PenColor	0x800000
BrushStyle	1 : Clear
PenStyle	0 : Solid
PenWidth	1
Shape	0 : Rect
ShowName	1 : True
Direction	4 : Bottom
About	1.0
Run-Time	
Type	1 : Output
Pin	34 : GPIO34
Value	1

Рисунок 4. Отображение параметров блока GPIO в поле Inspector

решения от виртуальной кнопки IN1, который приходит на логический элемент L2AND.

По окончании набора схемы необходимо сконфигурировать драйвер дискретной ножки микроконтроллера. Эта процедура легко выполняется с помощью панели Inspector, изображение которой приведено на рисунке 4. Достаточно указать всего два пара-

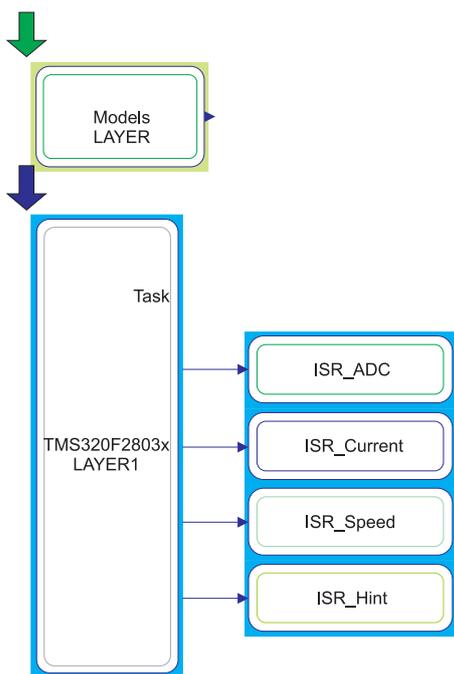


Рисунок 5. Настройка слоёв (закладка Layers)

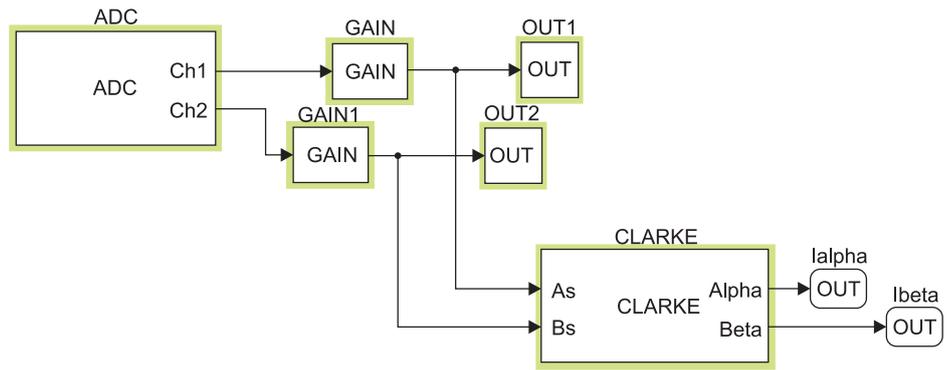


Рисунок 6. Подсистема ADC

метра: Type – назначить на выход, Pin – назначить ножку GPIO34.

Управление PMSM в «скалярном» режиме

Рассмотрим процесс создания блок-схемы программы управления синхронным электродвигателем с постоянными магнитами (Permanent Magnet Synchronous Motors), далее PMSM, в режиме «скалярного» управления.

Большинство программ управления, особенно такими сложными объектами, как электродвигатель, с целью эффективного использования ресурсов микроконтроллера требует вызова функций на различных частотах или по событиям. Для этой цели в среде MexBIOS™ Development Studio предусмотрен механизм распределения блоков по слоям (Layers). Слой фактически представляет собой группу блоков, подсвеченную уникальным фоном на рабочем поле и вызывающуюся с заданной частотой. Создание слоёв выглядит следующим образом. К базовому слою, вызываемому с максимальной частотой, заданной в его параметрах, подключаются второстепенные слои со своими уникальными именами. В нашем случае визуализация создания слоёв показана на рисунке 5.

Созданные слои предназначены:
 LAYER1 – основной слой;
 ISR_ADC – слой для обработки сигналов с АЦП;
 ISR_Current – слой для блоков контура тока;
 ISR_Speed – слой для блоков контура скорости;

ISR_Hint – слой для блоков сигнализации, в нём обрабатывается подсистема, показанная на рисунке 3.

Приведённое разделение обусловлено очередностью выполнения слоёв. Сначала выполняется главный слой LAYER1, затем все дополнительные слои с верхнего слоя. Сигналы от датчиков тока обрабатываются перед поступлением сигналов на обработку в контуре управления.

Схема обработки данных с АЦП приведена на рисунке 6.

Приведённые здесь блоки: драйвер АЦП ADC, масштабирования

Run-Time	
ChanCount	3
Prescaler	5
Trigger	5 : PWM1
VoltRef	3.3
Chan1	0 : ADCINA0
Chan2	1 : ADCINA1
Chan3	11 : ADCINB3
Chan4	0 : ADCINA0
Chan5	0 : ADCINA0
Chan6	0 : ADCINA0
Chan7	0 : ADCINA0
Chan8	0 : ADCINA0
Chan9	0 : ADCINA0
Chan10	0 : ADCINA0
Chan11	0 : ADCINA0
Chan12	0 : ADCINA0
Chan13	0 : ADCINA0
Chan14	0 : ADCINA0
Chan15	0 : ADCINA0
Chan16	0 : ADCINA0

Рисунок 7. Панель Inspector в режиме настройки блока ADC

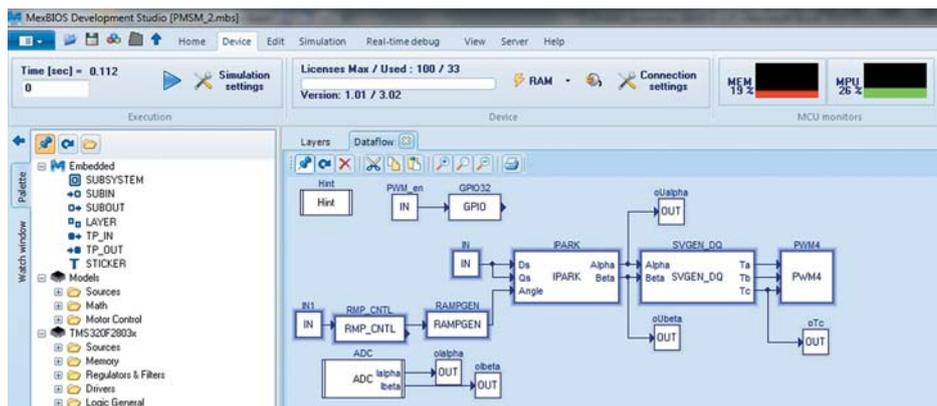


Рисунок 8. Схема «скалярной» системы управления

сигналов GAIN, преобразования Кларка CLARKE – вызываются на частоте ISR_ADC. Факт присутствия блоков в этом слое отражается соответствующей подсветкой фона блоков. Настройка блока ADC максимально упрощена: достаточно в панели Inspector указать используемые каналы и их количество, опорное напряжение.

Блок-схема программы в режиме «скалярного» управления показана на рисунке 8. Она содержит подсистему Hint, содержащую блок-схему управления светодиодным индикатором отладочного комплекта, приведённую на рисунке 3. Разрешение и блокировка работы ШИМ реализованы на блоках типа IN с именем PWM_en и GPIO32, соединённых между собой. Подсистема ADC содержит схему, приведённую на рисунке 6. Блоки линейного задатчика интенсивности RMP_CNTL и генератор пилообразного сигнала RAMPGEN формируют сигнал задания преобразования Парка (блок IPARK), который через блок SVGEN_DQ управляет сигналами, поступающими на модуль PMW4.

Настройка блока управления ШИМ сводится к вводу параметров, приведённых на рисунке 9. Это используемые каналы ШИМ, частота ШИМ и разрешение на согласование работы ШИМ и АЦП.

Результатом работы разработанной блок-схемы программы управления синхронным электродвигателем в скалярном режиме будет вращение электродвигателя с заданной частотой. Полученные в этом режиме осциллограммы напряжений и токов по каналам приведены на рисунке 10.

Бездатчиковая система управления PMSM

Приведённая выше система управления не имеет практической ценно-

Run-Time	
Id	0 : EPWM1-2/GPIO0-3
Frequency	5000
SocPulse	1 : True

Рисунок 9. Настройка параметров драйвера PWM

сти, так как она не обеспечивает требуемых показателей качества регулирования. Поэтому рассмотрим далее блок-схему управления синхронным электродвигателем в режиме бездатчикового токового управления (рисунок 11).

Здесь появляются три контура регулирования. Контур токов Id и Iq реализованы на базе блоков ПИД-регуляторов PID1 и PID2, преобразования Парка и подсистемы, содержащей блоки управления ШИМ SV_PWM.

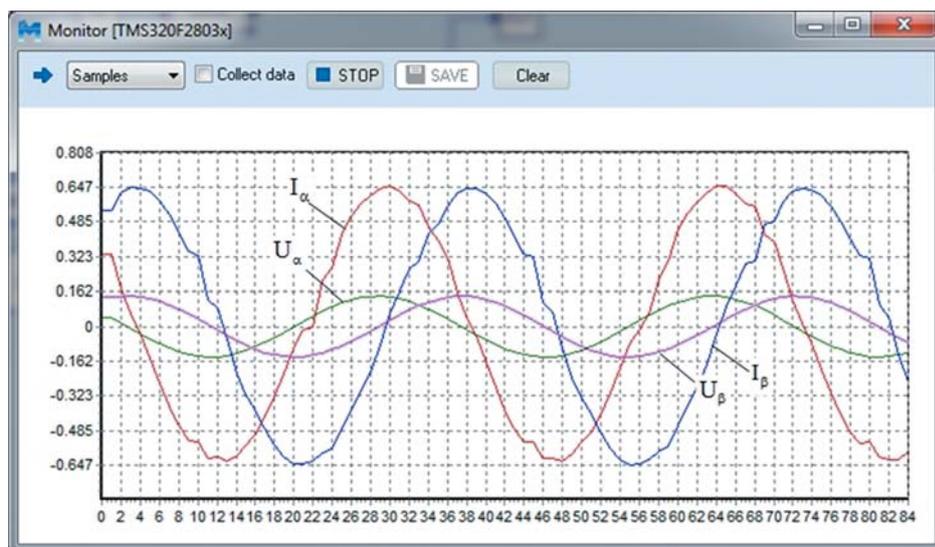


Рисунок 10. Сигналы U_α и I_α , U_β и I_β

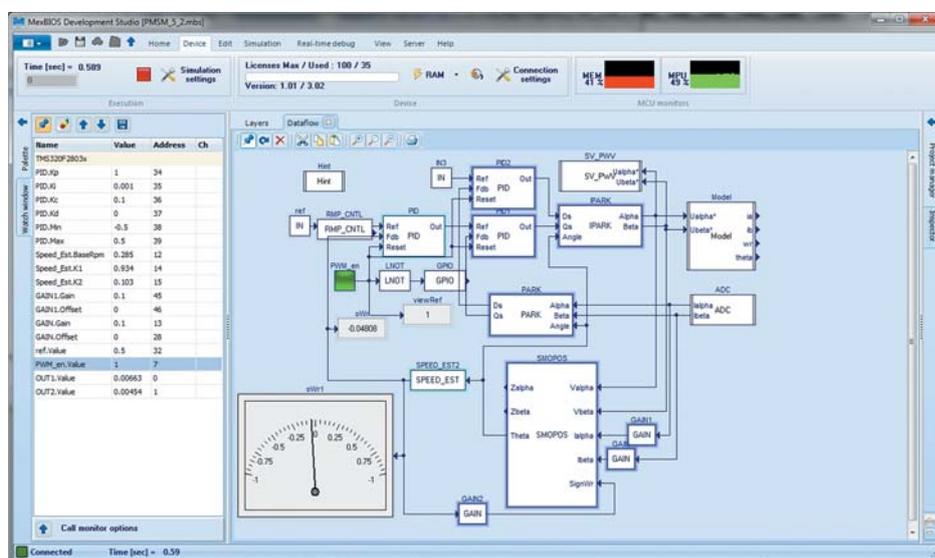


Рисунок 11. Бездатчиковая система управления PMSM

Kp	1
Ki	0.001
Kc	0.2
Kd	0
Min	-1
Max	1

Рисунок 12. Настройка ПИД-регулятора

ван также на базе ПИД-регулятора, блока RMP_CNTL, а также блока SMOPOS, реализующего расчёт угла положения вала ротора электродвигателя. Задание коэффициентов настройки ПИД-регуляторов так же просто, как и показанная ранее настройка драйверов периферии: достаточно ввести коэффициенты усиления регулятора, интегральную и дифференциальную составляющие, а также ограничения выходного сигнала (рисунок 12).

Для удобства работы с сигналами на рабочем поле программы в среде предусмотрены стрелочные ампер-

метры и вольтметры, имитирующие работу аналоговых приборов (рисунок 11).

Моделирование работы программы

Помимо разработки прикладных программ в виде блок-схем, среда MexBIOS™ Development Studio позволяет осуществить моделирование работы собранной блок-схемы без загрузки её в микроконтроллер. При разработке новых программно-аппаратных решений (промышленных контроллеров, блоков управления электродвигателями) это позволяет выполнять «виртуальную» отладку программы, без опасных экспериментов с элементами силовой электроники, электродвигателем, механизмом.

Пример, демонстрирующий работу программы в режиме моделирования, показан на рисунке 13. В отличие от приведённой на рисун-

ке 10 блок-схемы, здесь появилась модель синхронного электродвигателя PMSM. Модель электродвигателя была реализована на языке C и интегрирована в виде блока с помощью утилиты Block Builder. Интерфейс утилиты, показанный на рисунке 14, позволяет последовательно задать для создаваемого блока входы, выходы, внутренние параметры, исполняемый код, внешний вид блока и прочие атрибуты. Поскольку работа программы в режиме моделирования не требует управления реальным инвертором, то блок управления ШИМ PWM4 был исключён из блок-схемы, сигналы управления, поступающие на него, были подключены непосредственно к модели электродвигателя. Аналогично сигналы обратной связи от АЦП были также отключены, а обратная связь по току реализована через непосредственное подключение к модели электродвигателя.

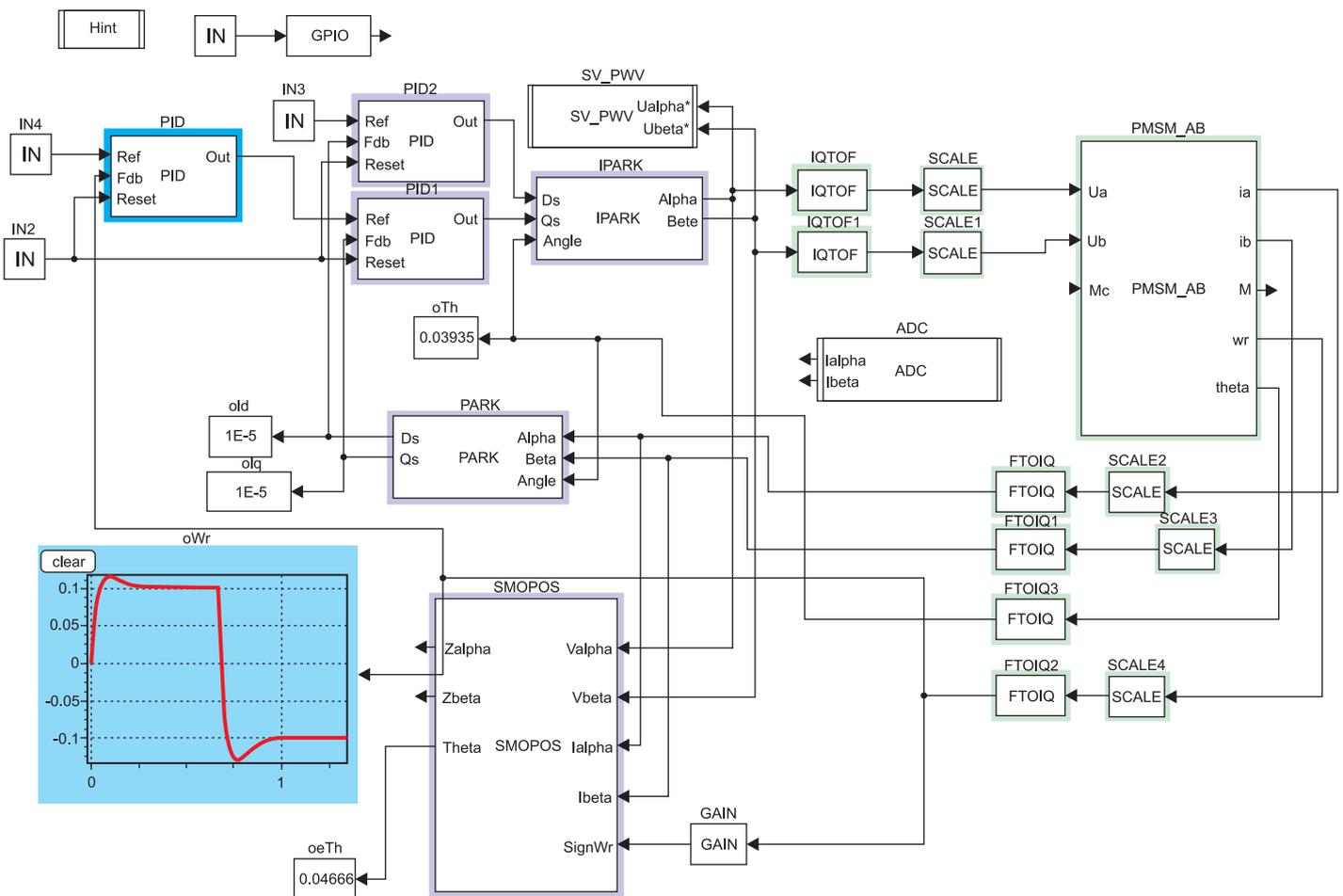


Рисунок 13. Блок-схема программы с моделью электродвигателя

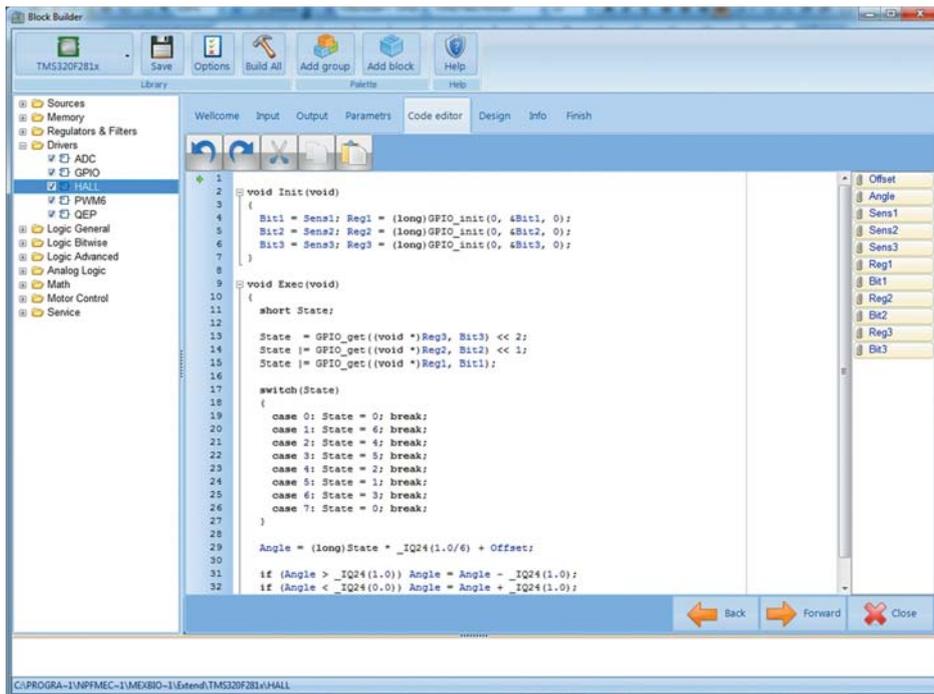


Рисунок 14. Утилита создания блоков Block Builder

Приведённые примеры показывают, что использование среды MexBIOS Development Studio предоставляет пользователю следующее:

- графическое программирование встроенных систем управления без потери производительности микроконтроллеров;
- предустановленный комплект готовых к использованию функций, драйверов и шаблонов различного назначения, с возможностью добавления пользователем в библиотеку собственных блоков, созданных на языке C и ассемблер;
- предварительное моделирование работы спроектированной системы совместно с математическими моделями потенциальных объектов управления;
- смена алгоритма работы без перепрограммирования FLASH-памяти микроконтроллера;
- простой перенос спроектированной системы управления на различные типы микроконтроллеров;
- возможность создания собственных конфигурируемых чипов на базе выпускающихся микроконтроллеров;
- запуск из существующих проектов программного обеспечения.

Возможны следующие варианты тестирования и использования описанной выше технологии:

- Без лицензии: бесплатно доступны все возможности системы (в том числе добавление собственных функций), однако время работы системы исполнения задач в микроконтроллере ограничено 2 часами, после чего требуется осуществить пересброс питания микроконтроллера.
- Ограниченная лицензия: предоставляется через покупку HASP-ключа, в который занесена информация о максимальном количестве загрузок в микроконтроллер неограниченных по времени работы блок-схем.
- Неограниченная лицензия: предоставляется через покупку HASP-ключа, в который занесена информация о неограниченном количестве загрузок в микроконтроллер неограниченных по времени работы блок-схем.
- Покупка чипов с предустановленной системой исполнения задач и стандартной библиотекой из 150 функций.
- Покупка отладочной платы с чипом со встроенной системой исполнения задач и стандартной библиотекой из 150 функций. На плате установлен USB-разъём

для работы с чипом, входы/выходы чипа выведены на разъём.

- Покупка отладочного комплекта с установленным чипом со встроенной системой исполнения задач и стандартной библиотекой из 150 функций. Комплект состоит из отладочной платы с чипом, инвертора напряжения, стандартного набора периферийных устройств. На сайте компании-разработчика www.mechatronica-pro.com доступны следующие бесплатные компоненты рассмотренной системы:

- Среда разработки MexBIOS Development Studio со встроенным конструктором блоков BlockBuilder.
- Processor Library для TMS320F28xx, 150 блоков, с примером стартового проекта.
- Processor Library для TMS320F280xx, 150 блоков, с примером стартового проекта.
- Processor Library для TMS320F283xx, 150 блоков, с примером стартового проекта.
- Видеоуроки.
- Документация (описание технологии, среды программирования, библиотек компонентов, готовых приложений для различных систем управления электродвигателями и т. д.).

Литература

1. Каракулов А. С., Гусев Н. В. MexBIOS – российская программная платформа для разработки цифровых систем управления электроприводами // Электроприводы переменного тока: Труды международной четырнадцатой научно-технической конференции. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2012. – С. 315–318.
2. Каракулов А. С., Гусев Н. В., Родионов Г. В., Сливенко М. В. Современная технология разработки цифровых систем управления электроприводами // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2011 №. 6, стр. 46–51
3. <http://www.mechatronica-pro.com/ru/blog/?action=full&id=11>

SimpleLink Wi-Fi CC3000 — флагманское решение, направленное на расширение концепции «Интернет вещей»



CC3000-FRAM-EMK – оценочный модуль – полностью завершённое Wi-Fi-решение для демонстрации и оценки возможностей FRAM-микроконтроллера MSP430 со стек SimpleLink Wi-Fi. Набор включает в себя всё необходимое аппаратное и программное обеспечение для быстрого старта. Wi-Fi-коммуникация осуществляется с помощью модуля, выполненного на базе системы-на-кристалле CC3000, – это простое в реализации Wi-Fi-решение с поддержкой IEEE 802.11 b/g, имеющее размер 11,5×16,5 мм. В нём реализована поддержка TCP, UDP и IP, а для разработчиков функциональность модуля доступна средствами стандартных API.

SimpleLink Wi-Fi-решение значительно упрощает разработку ПО микроконтроллера для организации подключения устройств к Интернету, не требуется наличие операционной системы, интеграцию с существующими системами можно провести за несколько часов. Можно использовать недорогие микроконтроллеры с 3 кбайт ОЗУ и 6 кбайт flash-памяти. Набор также позволит оценить возможности микроконтроллеров нового поколения с FRAM-памятью.

В состав набора входит: отладочная плата MSP-EXP430FR5739, беспроводной

модуль, точка доступа Wi-Fi и комплект ПО, включая демонстрационное ПО для беспроводной передачи данных от сенсоров.

Отличительные особенности:

- Полнофункциональный оценочный модуль Wi-Fi;
 - Модуль Wi-Fi на базе процессора CC3000:
 - автономный IEEE 802.11 b/g сетевой процессор с поддержкой TCP, UDP и IP;
 - потребляет 0,5% ресурсов в сравнении с традиционными Wi-Fi решениями: хост-контроллер должен иметь всего лишь 3 кбайт ОЗУ и 6 кбайт flash-памяти;
 - процессор избавит от необходимости изучения документации, технических руководств и технологий для реализации подключения устройств к Интернету. Для коммуникации достаточно недорогого Host-микроконтроллера, не требуется наличие операционной системы, интеграцию с существующими системами можно провести за несколько часов;
 - автономный и сертифицированный радиочастотный модуль на базе процессора;
 - конструкция модуля позволяет устанавливать его на печатную плату, причём не потребуются знания радиочастотных спецификаций и стандартов, которые уже учтены при разработке модуля: соответствие стандартам США, Канады и Европы;
 - поддержка технологии FirstTimeConfig от Texas Instruments упрощает соединение с точкой доступа 802.11 без

использования пользовательского интерфейса или дисплея;

- отладочная плата MSP-EXP430FR5739:
 - FRAM-микроконтроллер MSP430F5739:
 - 16 кбайт FRAM, 1 кбайт SRAM;
 - рабочая частота 8 МГц;
 - 5 16-битных таймеров;
 - 16-канальный 10-битный АЦП;
 - 16-канальный компаратор;
 - коммуникационные интерфейсы: UART, SPI, I²C, IrDA;
 - 32 линии ввода/вывода;
 - конфигурирование с помощью джамперов;
 - датчик температуры;
 - 3-осевой акселерометр;
 - 8 пользовательских светодиодов, 2 кнопки;
 - возможность подключения к отладочной плате MSP-EXP430F5438;
 - плата поддерживает подключение RF-модулей;
 - интегрированный JTAG-адаптер, возможность подключения внешнего USB JTAG-адаптера;
 - питание от внешнего источника или от отладчика;
- Полная программная и техническая поддержка, включая стек и демонстрационное ПО.



Рисунок. Отладочный комплект

Более подробную информацию смотрите на сайте www.ti.com

Вместе в борьбе за лидерство



Центральный офис

Россия, 117587, Москва, Варшавское шоссе, 125
Тел. +7 (495) 781 4945 Факс +7 (495) 781 4992
E-mail: texas.msk@scanti.com, www.scanti.com

Офис в Санкт-Петербурге

197374, Санкт-Петербург,
Торфяная дорога, д.7
Бизнес-центр "Гулливер-2", офис 715
Тел: +7(812)441-2524, 441-2554
E-mail: texas.spb@scanti.com

Офис в Минске

Беларусь, 220099, Минск, ул. Казинца, 4, к. 514 (здание ГО "Белресурсы")
Тел. +375 (17) 278 2800 Тел./факс +375 (17) 256 0867
E-mail: texas.minsk@scanti.com

Офис в Киеве

Украина, 02160, Киев, пр. Воссоединения, 7-а, офис 726
Тел./факс +38 (044) 206 2277
E-mail: texas.kiev@scanti.com