

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 1 2010



Драйверы RGB-светодиодов
Источники питания для
медицинского оборудования
Двухчастотные генераторы
серии DGSR
Нестандартное использование
контроллера Intel 80C32
Верификация цифровых
HDL-проектов
Антиотладочные приёмы
для микроконтроллеров AVR

С Новым годом!

7 лет работы на рынке электроники
1200 успешных проектов на территории России



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ: СЛОЖНЫХ МОДУЛЕЙ, КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ



Монтаж печатных плат



Сборка приборов, стоек, шкафов



Поставка печатных плат



Комплектование производственных программ



Вспомогательная работа и услуги

Посетите **виртуальную** экскурсию по производству на сайте www.fasteko.ru



Закажите **реальную** экскурсию на предприятие и консультации с ведущими специалистами по телефону: +7 (495) 739-07-75 или по электронному адресу: product@fasteko.ru

Главный редактор
Александр Майстренко

Зам. главного редактора
Татьяна Крюк

Редакционная коллегия
Андрей Данилов, Олег Фёдоров

Вёрстка
Александр Либков

Обложка
Дмитрий Юсим

Служба распространения
(info@soel.ru)
Ирина Лобанова

Служба рекламы
(advert@soel.ru)
Ирина Савина

Издательство «СТА-ПРЕСС»
Директор Константин Седов
Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26
Телефон: (495) 232-0087
Факс: (495) 232-1653
Сайт: www.soel.ru
E-mail: info@soel.ru

Журнал выходит 9 раз в год

Тираж 10 000 экземпляров
Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-18792 от 28 октября 2004 года)
Свидетельство № 00271-000 о внесении в Реестр надёжных партнеров Торгово-промышленной палаты Российской Федерации
Цена договорная

Отпечатано:
ОАО «Полиграфический комплекс
"Пушкинская площадь"»
Адрес:
109548, г. Москва, ул. Шоссейная, д. 4д

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.
Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.
Ответственность за содержание статей несут авторы.
Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.
© СТА-ПРЕСС, 2009



Уважаемые читатели!

Вот и закончился 2009 г. Он был непростым для всех: разразившийся на Западе и пришедший к нам кризис затормозил развитие нашей страны на несколько лет. В России снизился уровень производства и потребления, упал курс национальной валюты. Многие наши сограждане потеряли работу, многим понизили зарплату. Сейчас, когда дно кризиса пройдено, можно сделать некоторые выводы относительно направления развития нашей страны в последние годы. Да, конечно, высокие докризисные цены на нефть позволили нашей стране накопить некий «жировой слой», но уж очень быстро он стал таять после их падения. Надо отдать должное молодому и энергичному руководству нашей страны: оно понимает, что быть европейской бензоколонкой и считать при этом себя великой державой невозможно. Уж если говорить по большому счёту, то наша «труба» – наша беда. Быстрые и лёгкие деньги соблазнительны, работа «сидеть на трубе» стала в нашей стране высокооплачиваемой и престижной. Мы забыли, что грести лопатой, пусть даже нефть-доллары, – самое глупое из всех занятий, на которые способен человек. Мы легко и быстро растеряли значительную часть интеллектуального потенциала страны, а восстанавливать его придётся тяжело и долго, но другого выхода у нас нет.

Именно вы, уважаемые читатели нашего журнала, как раз и являетесь частью того самого интеллектуального потенциала, на который страна возлагает надежды. Я желаю вам в Новом году новых удач, новых свершений, новых изобретений и открытий, новых статей и книг, словом, всего того, что делает вашу жизнь интересной и полной. И, конечно же, здоровья вам и вашим близким.

С Новым 2010 годом, дорогие наши читатели!

*С уважением,
Александр Майстренко*

Market

News from the Russian Market 4

Modern Technologies

Implementation of Bluetooth Interface Advantages in Embedded Systems 8
Petr Pavlov

Technology of Powerful LEDs and LED Arrays 14
Evgenii Gorelik, Josef Schmidl, Dan Evans

Elements and Components

Circuit Design of Drivers for RGB LEDs 18
Igor Bezverkhni

Medical Power Supplies: Trends, Challenges and Design Approaches 28
Peter Blyth

Analogue of the Piezoresistive Transducer Based on the Hall Effect 32
Aleksandr Drapezo, Vyacheslav Yarmolovich, Aleksei Losev, Igor Buslov, Valerii Bautkin

Differential Fiberoptic Vibration Pickup 36
Anton Shchevelev, Aleksandr Kurilenko, Tat'yana Murashkina, Oleg Graevskii, Yurii Makarov

Devices and Systems

Double-Frequency DGSR Generators for Measuring Intermodulation Distortion 38
Viktor Bezrukov, Vladimir Alekseenkov

Practical Electronics

SNMP Budget Agent for Enterprise Management Systems 40
Aleksandr Eliseev

Unusual Application of the Intel 80C32 Controller 48
Aleksei Grebennikov

Design and Simulation

Selection of Parameters and Operating Mode of MOS Transistors in Circuit Simulation of Analog IP Components. Part 2: A Method of Initial Circuit Simulation 50
Oleg Dvornikov, Vitalii Grishkov

Advanced Methods for Functional Verification of HDL Projects: ABV Methods and OVL and QVL Libraries 56
Andrei Lokhov

MathSpice: An Analytical PSpice Engine for OrCAD and MicroCAP. Part 6: Analysis of AC Circuits in MathSpice 60
Oleg Petrakov

Programming

Anti-debugging Procedures for 8-bit AVP Microcontrollers 64
Nikolai Balandin

In-Circuit Debugging for ADUC Microcontrollers 68
Dmitrii Onyshko

Theory

Adaptive Filters and Applications Thereof in Radio Engineering and Communication 72
Viktor Dzhigan

Events

6th International Specialized Exhibition «Power Electronics and Power Engineering» 78

Mentor Graphics Workshop 79

Рынок

- 4 Новости российского рынка

Современные технологии

- 8 Реализация 5 интерфейса Bluetooth во встроенных системах
Пётр Павлов
- 14 Технологические особенности производства мощных светодиодов и светодиодных матриц
Евгений Горелик, Йозеф Шмидль, Дэн Эванс

Элементы и компоненты

- 18 Особенности схемотехники ИС драйверов светодиодов RGB
Игорь Безверхний
- 28 Источники питания для медицинского оборудования: тенденции, проблемы и методы проектирования
Питер Блит
- 32 Аналог тензорезистивного преобразователя на эффекте Холла
Александр Драпезо, Вячеслав Яромлович, Алексей Лосев, Игорь Буслов, Валерий Бауткин
- 36 Дифференциальный волоконно-оптический вибродатчик
Антон Шевелев, Александр Куриленко, Татьяна Мурашкина, Олег Граевский, Юрий Макаров

Приборы и системы

- 38 Двухчастотные генераторы серии DGSR для измерения интермодуляционных искажений
Виктор Безруков, Владимир Алексеенков

Практическая электроника

- 40 Бюджетный агент SNMP для корпоративных систем управления
Александр Елисеев
- 48 Нестандартное использование контроллера Intel 80C32
Алексей Гребенников

Проектирование и моделирование

- 50 Выбор параметров и режимов работы МОП-транзисторов при схемотехническом моделировании аналоговых IP-компонентов. Часть 2. Методика начального схемотехнического моделирования
Олег Дворников, Виталий Гришков
- 56 Современные методы функциональной верификации цифровых HDL-проектов: методология ABV, библиотеки OVL и QVL
Андрей Лохов
- 60 MathSpice – аналитический PSpice-движок для OrCAD и MicroCAP. Часть 6. Расчёт цепей переменного тока в MathSpice
Олег Петраков

Программирование

- 64 Антиотладочные приёмы для 8-битных микроконтроллеров AVR
Николай Баландин
- 68 Внутрисхемная отладка для микроконтроллеров ADUC
Дмитрий Онышко

Вопросы теории

- 72 Адаптивные фильтры и их приложения в радиотехнике и связи
Виктор Джиган

События

- 78 6-я Международная специализированная выставка «Силовая электроника и энергетика»
- 79 Семинар компании Mentor Graphics

Новости российского рынка

Элементы и компоненты

Программируемый блок управления шаговыми двигателями SMSD-4.2

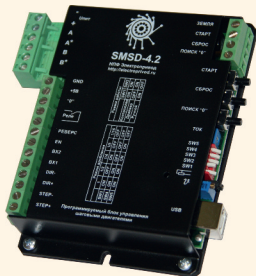
Компания ООО «НПФ Электропривод» разработала новый блок для управления шаговыми двигателями с максимальным током каждой из фаз до 4,2 А.

Блоки SMSD-4.2 могут работать с управлением от компьютера (подключение USB), контроллера или использоваться в автономном режиме.

Блоки SMSD-4.2 работают в трёх основных режимах:

- в режиме драйвера с управлением сигналами 0/5 В «ШАГ» и «НАПРАВЛЕНИЕ» (характерно для станков ЧПУ);
- в ручном режиме управления с аналоговым регулированием скорости;
- в режиме программируемого контроллера по сложному алгоритму с программированием всех параметров движения.

Открытый протокол обмена по RS-232 позволяет создавать собственные программы управления и встраивать блок в состав различных систем. SMSD-4.2 при необходимости синхронизируется с внешними устройствами, имеет функцию поиска начального положения.



Основные характеристики:

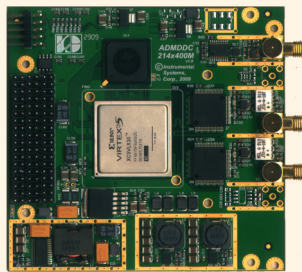
- напряжение питания – 12...48 В;
- максимальный выходной ток – 4,0 А;
- режимы дробления шага – 1, 1/2, 1/4, 1/16;
- пять дискретных входов для получения сигналов от внешних устройств;
- один аналоговый вход для управления скоростью.

<http://electroprivod.ru/>,
<http://pneumoprivod.ru>

Тел./факс: (812) 493-2726,
(812) 703-0981

Новый submodule для цифрового приёма

ЗАО «ИнСис»полнило семейство продуктов для цифрового приёма новым двухканальным submodule ADMDDC214x400M, предназначенным для применения в широкополосных радиолокационных и связных системах. Входной аналоговый тракт АЦП



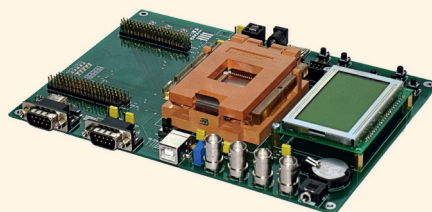
обеспечивает работу в диапазоне частот входных сигналов от 10 до 1000 МГц. Применение АЦП 14 разрядов 400 МГц гарантирует высокий динамический диапазон и малые интермодуляционные искажения и позволяет дискретизировать сигналы с аналоговой полосой до 200 МГц. В режиме DDC отсчёты с выхода АЦП обрабатываются специализированным сигнальным процессором GC5016. Назначение DDC – квадратурный перенос на нулевую частоту, децимация сигнала и последующая НЧ-фильтрация. При максимальной тактовой частоте GC5016 320 МГц ширина полосы обрабатываемого сигнала достигает 70 МГц. Тактирование submodule может производиться от встроенного кварцевого генератора или от внешнего источника тактового сигнала. В качестве несущего модуля ЦОС рекомендуется использовать базовые платы с ПЛИС ADM Virtex 5, 6 типа AMBPEX5, ADP201x1.

www.insys.ru

Тел.: (495) 781-2750/51

Отладочные средства для российского 32-разрядного микроконтроллера 1986BE91T

Компания «Миландр», российский разработчик и производитель микросхем повышенной надёжности, анонсирует выход собственных отладочных средств для нового 32-разрядного микроконтроллера 1986BE91T, спроектированного на основе современного ядра ARM Cortex-M3. Отладочные средства позволяют производить пошаговую отладку программ для данного контроллера, «прошивать» его с помощью программаторов Keil Ulink2 или Keil Ulink-me и т.д. Для процесса отладки могут быть использованы такие среды разработки, как



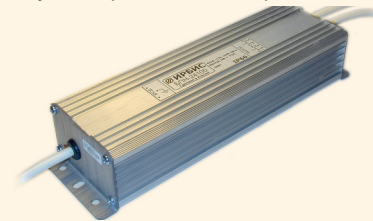
Keil uVision и IAR Embedded Workbench. В конце 2009 г. у компании должна появиться собственная отладочная среда, компилятор языка «Си», набор библиотечных функций, которые в настоящий момент находятся в завершающей стадии разработки. 1986BE91T является первым российским микроконтроллером с данным ядром и не уступает импортным аналогам. Микроконтроллер имеет широкий набор периферийных интерфейсных блоков, таких как USB, CAN, UART, SPI и I²C. Наряду с этим, в них входит мощная аналоговая составляющая: 12-разрядный 16-канальный АЦП, 12-разрядный 2-канальный ЦАП, схема аппаратного компаратора и многое другое. Объём встроенной FLASH-памяти программ 128 Кб, объём ОЗУ 32 Кб. Микроконтроллер предназначен для применения в специальной технике и обладает расширенным диапазоном рабочей температуры от –60 до +125°C и напряжением питания от 2,0 до 3,6 В.

www.milandr.ru

Тел.: 601-9545

Влагозащищённые источники питания для систем светодиодного освещения от ЗАО «ММП-Ирбис»

Компания ЗАО «ММП-Ирбис» (Москва) начала производство модулей питания для светодиодных источников света собственной разработки: источников напряжения серии БПН и источников тока серии БПТ. Источники напряжения мощностью от 12 до 200 Вт, источники тока с выходным током от 0,35 до 4,2 А. Все блоки имеют комплекс защит и влагозащищены (IP66). Цена приятно удивит российских потребителей!



www.mmp-irbis.ru

Тел.: (495) 987-1016

Одноканальные низкопрофильные 1-кВт источники питания AC/DC от компании TDK-Lambda

Компания TDK-Lambda представила серию RFE1000 новых одноканальных 1-кВт источников питания для встраивания в конструктивы высотой 1U, предназначенных как для индивидуального применения, так и в распределённых системах электропитания

Новости российского рынка



для формирования напряжений промежуточной шины 24, 32 и 48 В. Функция регулировки выходного напряжения в диапазоне $\pm 20\%$ от номинального значения позволяет использовать источники питания серии RFE1000 во множестве специальных применений, включая заряд аккумуляторных батарей. Источники питания предназначены для работы от сети переменного тока с диапазоном изменения сетевого напряжения от 85 до 265 В, типичные применения включают средства связи, промышленную автоматизацию и усилители высокой частоты. Высокое значение КПД – до 89% – минимизирует рассеиваемую тепловую мощность.

Модули питания могут применяться отдельно или соединяться параллельно (до 8 модулей) для формирования высоконадёжных систем электропитания с N+1 резервированием с применением блокирующих MOSFET-транзисторов, соединённых по схеме «ИЛИ». Модули оснащены охлаждающим вентилятором с изменяемой скоростью вращения и способны работать в диапазоне температур от 0 до $+70^\circ\text{C}$. Значение удельной мощности составляет 10,5 Вт/дюйм³, габариты модуля 305 × 127 × 41 мм.

Модули обладают следующими стандартными сервисными функциями: защита от перенапряжения, по току и перегрева, дистанционное включение/выключение, внешняя обратная связь; для сигнализации о неисправностях в источниках питания, контроля уровня выходного напряжения используются оптоизолированные сигналы DC OK, AC fail, сигнал предупреждения о перегреве, а также светодиодный индикатор для сигнализации о состоянии выходного напряжения (DC OK). Однопроводная схема для равномерного распределения выходного тока, внешняя обратная связь, вспомогательный выходной канал 12 В/0,25 А со встроенными блокирующими диодами для параллельного соединения по схеме «ИЛИ» также являются стандартными функциями.

Модули питания соответствуют требованиям стандарта EN55022 (Class B) к кондуктивным помехам и помехам излучения, а по требованиям к обеспечению безопасности – стандарту UL/EN 60950-1. Уровни эмиссии гармонических составляющих тока соответствуют требованиям стандарта

EN61000-3-2. Модули поддерживаются двухлетней гарантией.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Влагозащищённые 12-Вт источники питания для систем светодиодного освещения от TDK-Lambda

Компания TDK-Lambda разработала новый ряд источников питания, которые предназначены для применения в системах светодиодного освещения, требующих высоконадёжных источников питания. Эти 12-Вт источники питания со степенью защиты IP66 могут применяться в светодиодном осветительном оборудовании, установленном внутри и вне помещений, способны работать от сети с широким диапазоном изменения напряжения от 90 до 277 В (пределы изменения частоты сети 47...63 Гц).

Новые источники питания доступны в



двух исполнениях: модули серии LDV12 обеспечивают на выходе напряжения 12, 15 и 24 В, а модули серии LDC12 обеспечивают в нагрузке стабилизированный ток 350 и 700 мА. Модули с конвекционным отводом тепла обеспечивают полную мощность в диапазоне рабочих температур от -10 до $+60^\circ\text{C}$, гарантируется надёжное включение при температуре -20°C ; модули характеризуются значением КПД до 82%. Стандартными сервисными функциями являются защита от короткого замыкания, перегрузки по току и перенапряжения. Габариты виброударопрочного герметизированного корпуса модулей 90 × 34,5 × 21 мм.

Кондуктивные помехи и помехи излучения соответствуют требованиям стандартов EN55022, EN55015, VCCI, CISPR22 и FCC (Class B), а по требованиям к обеспечению безопасности модули соответствуют стандартам UL1310 (Class 2), EN61347-1 и EN61347-2-13. Помехоустойчивость модулей серий LDC12 и LDV12 соответствует стандартам EN61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -8, -11. Среднее время наработки до отказа (MTBF) составляет свыше 700 000 ч, модули поддерживаются трёхлетней гарантией.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

12-кВт источник питания с выходным напряжением 3000 В

Компания Schaefer представила новую серию C5800HV источников питания с высоким выходным напряжением.

Источники питания серии C5800HV обеспечивают выходные напряжения с номинальными значениями до 3000 В постоянного тока и генерируют мощность до 12 кВт. Высокое выходное напряжение необходимо при передаче постоянного напряжения от удалённых установок в нагрузку на территориально-отдалённых местах по кабелям с длинами в десятки или сотни километров.

Конструкция изделий, выполненная из компонентов промышленного класса, обеспечивает высокий КПД, характеризуется небольшими габаритами и может применяться в жёстких условиях окружающей среды.



Конструкция источников питания серии C5800HV основана на конструкции серии C/B5800, которая включает обширную линейку – свыше 100 моделей. Пять стандартных диапазонов входного напряжения постоянного тока охватывают ряд от 80 до 800 В. Предлагаются модели для работы от одно- и трёхфазной сети переменного напряжения, а также модули для управления зарядом аккумуляторных батарей. Выходные напряжения одноканальных моделей охватывают диапазон 12...3000 В постоянного тока, все они регулируются и характеризуются значением нестабильности по току 0,2% и нестабильностью по сети 0,1%.

Преобразователи напряжения DC/DC и AC/DC оснащены внешней обратной связью. Полный комплект защит является стандартным. Значение КПД до 95%. Диапазон рабочих температур $-20...+75^\circ\text{C}$ с возможностью заказа моделей с диапазоном рабочих температур $-40...+75^\circ\text{C}$. Доступны дополнительные опции: развязывающие диоды для параллельного включения и дублирования, дополнительное конструктивное упрочнение, сигналы о неисправностях, системный сброс и функции программирования/мониторинга.

Модули выполняются в компактных корпусах высотой 6U или 9U для установки в каркасы или для монтажа на стену.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Новости российского рынка

Новый 8,6-дюймовый электролюминесцентный дисплей с расширенным рабочим диапазоном температур

Компания Planar Systems расширила серию 8,6-дюймовых электролюминесцентных дисплеев моделью EL512.256 H3-ET FRB для работы в широком диапазоне рабочих температур от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Этот дисплей с разрешением 512×256 пикселей предлагает разработчикам путь к усовершенствованиям фотометрических параметров по сравнению с пассивными ЖК-дисплеями.

Дисплей имеет встроенный преобразователь напряжения DC/DC и небольшие габариты. Модуль предназначен для функционирования в жёстких условиях окружающей среды, а чёткое изображение дисплея видно под острым углом. Цифровой интерфейс дисплея отвечает требованиям большинства систем. Частота кадровой развёртки до 75 Гц.

Напряжения питания дисплея $+5$ В и $11...30$ В постоянного тока, а для работы дисплея требуются четыре основных входных сигнала:

- видеоданные или информация об элементах изображения;
- синхриимпульсы видеоданных, тактовые сигналы пикселей или синхросигналы для воспроизведения изображений на растровом дисплее;
- строчный синхросигнал;
- кадровая синхронизация.

Для надёжного монтажа модель EL512.256 H3-ET FRB оснащена стальной рамой.

Основные технические характеристики EL-дисплея EL512.256-H3-ET FRB:

Разрешение, пикселей 512×256
Шаг пиксела, мм $0,38 \times 0,38$
Габариты модуля
(Ш \times В \times Г), мм $260 \times 140 \times 10,6$
Рабочая площадь экрана
(Ш \times В), мм $195,1 \times 97,5$
Размер диагонали экрана, см $21,8$ (8,6")
Угол обзора, градус 160°
Время реакции, мс <1
Яркость, кд/м² 65
Напряжение питания (встроенный DC/DC-преобразователь), В $+5$ и $+11...30$



Потребляемая мощность (макс.), Вт . . .12
Наработка до отказа,
MTBF (мин.), ч $>30\ 000$
Диапазон рабочих
температур, $^{\circ}\text{C}$ $-40...+85$
Влажность (при $+40^{\circ}\text{C}$,
без конденсации влаги), % 93
Высота над уровнем моря
(в рабочем режиме), м $15\ 000$
Удар (3 по каждой
поверхности) . . .100 г, длительность 4 мс
Вибрация (случайная) диапазон частот
 $20...500$ Гц
Спектральная плотность $0,05$ г²/Гц

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Низкопрофильный 1500-Вт источник питания AC/DC для применения в системах электропитания промышленных предприятий

Компания XP Power представляет новые 1500-Вт источники питания AC/DC серии HPU1K5, предназначенные для широкого ряда промышленных применений, требующих большой мощности в пределах компактного корпуса высотой 1U.

Поставляются три одноканальные модели с номинальными выходными напряжениями $+12$, $+24$ или $+48$ В, которые регулируются потенциометром или уровнями напряжения. Источники питания предназначены для работы от сети переменного напряжения с диапазоном от 85 до 264 В. При входных напряжениях выше 180 В модули обеспечивают в нагрузке до 1500 Вт, при напряжениях ниже 180 В в нагрузке обеспечивается мощность 1200 Вт. Модуль питания может устанавливаться вертикально или горизонтально и способен работать в диапазоне температур $-20...+50^{\circ}\text{C}$, обеспечивая в нагрузке полную мощность, и до $+70^{\circ}\text{C}$ с понижением выходной мощности.

В конструкции модулей используется вентилятор с регулируемой скоростью вращения для уменьшения акустического шума до минимума; характерно также использование только двух печатных плат.

Эти особенности способствуют оптимальному потоку воздуха через модуль, обеспечивая низкую внутреннюю рабочую температуру, что гарантирует длительную надёжную работу компонентов в течение длительного времени. Применение двухкаскадной схемы корректора коэффициента мощности и технологии синхронного выпрямления способствуют более чем 90-процентному КПД.

Модули HPU1K5 с одинаковыми выходными напряжениями могут быть использо-

ваны в конструкциях с подключенными параллельно модулями (до 8 модулей) и могут равномерно распределять до 10% тока друг друга при полной нагрузке.

Выходной канал 5 В/1 А для обеспечения дежурного режима является стандартным. Другие шины управления и сигнализации обеспечивают AC OK, DC/OK, дистанционное включение/выключение, индикацию перегрева. Внешняя обратная связь компенсирует падение напряжения на соединительных проводниках до 0,5 В.

Модули серии HPU1K5 поддерживаются трёхлетней гарантией.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Компактный (высота 1U) инвертор DC/AC с низким коэффициентом гармоник и выходной мощностью 2 кВА

Высокоэффективные DC/AC-инверторы серии AEP-A2000R с низким коэффициентом гармоник, предлагаемые компанией Schaefer, сертифицированы на соответствие требованиям к электробезопасности стандарта UL60950-1. DC/AC-инверторы серии AEP-A2000R выполнены в корпусах высотой 1U и обеспечивают выходную мощность 2 кВА. Инверторы доступны в трёх стандартных конфигурациях: для работы от сетей постоянного тока 12, 24 и 48 В. Имеются модели с выходными напряжениями 115 или 230 В (частота 50/60 Гц), с отклонениями напряжения в пределах $\pm 3\%$. Встроенный автоматический переключатель байпаса (4...6 мс) обеспечивает резервирование: переключение на сеть альтернативного энергоснабжения, если пропадёт напряжение в сети постоянного тока.

Все модели серии AEP-A2000R оснащены надёжной схемой защиты и цифровым дисплеем, обеспечивающим простое считывание сигналов тревог (низкое напряжение, короткое замыкание, перегрузка по напряжению входа, перегрев, перегрузка и низкий заряд батарей). Дисплей также показывает напряжение, ток в нагрузке, мощность и температуру внутри корпуса. Значение КПД – от 86 до 92% в зависимости от конкретной модели. Широкий диапазон рабочих температур от -20 до $+60^{\circ}\text{C}$ позволяет применять инверторы в жёстких условиях окружающей среды. Низкий уровень элек-



Новости российского рынка

трамагнитных помех минимизирует влияние на другую чувствительную аппаратуру.

Компактная конструкция (высота 1U) для монтажа в 19" шкафы является прочной и идеальной для применений в промышленности, коммунальном хозяйстве, военном, коммуникационном оборудовании, морс-



кой аппаратуре, автомобилях технической помощи и других применениях для резервирования сетей энергоснабжения.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Недорогие корпусированные источники питания AC/DC для промышленных применений

Компания XP Power объявила о начале выпуска одноканальных корпусированных источников питания AC/DC серии LCL для монтажа на шасси. Предлагается ряд моделей недорогих источников питания с выходными мощностями 150, 300 и 500 Вт с КПД до 90% при полной нагрузке. Для 150-Вт моделей отвод тепла осуществля-

ется конвекцией, а охлаждение других моделей осуществляется воздушным потоком, создаваемым встроенным вентилятором.

Источники питания серии LCL способны работать в широком диапазоне входного напряжения от 85 до 264 В. В отличие от многих других моделей, представленных на рынке, для источников питания серии LCL не требуется понижать выходную мощность при низких значениях входного напряжения – они обеспечивают полную мощность во всём диапазоне напряжений питающей сети от 90 до 264 В. Предлагаются модели с номинальными значениями выходного напряжения +12, +13,5, +15, +24, +27 и +48 В. Потенциометром обеспечивается регулировка выходного напряжения от номинального значения в диапазоне ± 1 В для компенсации падения напряжения на соединительных линиях или при необходимости обеспечения нестандартных значений выходного напряжения.

Источники питания серии LCL предназначены для применения в автоматизированных системах управления предприятием, системах управления технологическими процессами и промышленных системах освещения. Диапазон рабочих



температур 150- и 300-Вт моделей от -10 до $+50^\circ\text{C}$ (без понижения мощности), а 500-Вт модули способны обеспечивать полную мощность в нагрузке до температур $+55^\circ\text{C}$.

Все модули оснащены полным комплектом защит и управления, включая такие, как защита от перегрева, перенапряжения, перегрузки по току и короткого замыкания. Кроме того, 300- и 500-Вт модули оснащены функцией дистанционного включения/выключения, а 500-Вт модели имеют функцию внешней обратной связи.

Модули питания отвечают требованиям стандартов безопасности EN60950-1/IEC60850-1, CSA60950 No 22 для оборудования информационной техники и промышленного оборудования, а также стандарта EN55022 (класс В) к уровням кондуктивных помех без применения дополнительных фильтрующих компонентов.

Источники питания серии LCL поддерживаются трёхлетней гарантией.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Приборы и системы

Curtiss-Wright SEC демонстрирует первую OpenVPX-систему

Компания Curtiss-Wright Controls Embedded Computing, производитель встраиваемых компьютерных плат и систем для военных применений, продемонстрировала первую на рынке 3U VPX-систему, удовлетворяющую требованиям спецификации OpenVPX. Система состоит из 4-слотного корпуса для плат с кондуктивным охлаждением, одноплатного компьютера, графического контроллера и носителя мезонинов.



OpenVPX – стандарт на системный уровень VPX (VITA 46), предназначенный для обеспечения полной совместимости VPX-модулей различных производителей. Стандарт OpenVPX определяет несколько

системных профилей и порядок реализации в модулях данного профиля соответствующего набора dot-спецификаций VITA 46.x. Необходимость в спецификации системного уровня вызвана многообразием dot-спецификаций VITA 46.x и появлением их реализаций, несовместимых между собой. Спецификация OpenVPX разработана отраслевой рабочей группой из 28 компаний и передана в VSO (VITA Standards Organization) для ратификации в качестве стандарта VITA 65.

www.avdsys.ru

Тел.: (499) 148-9677

USB-осциллографы АКИП-4114

Линейка USB-осциллографов АКИП пополнилась новой моделью – АКИП-4114, которая сочетает в себе цифровой осциллограф, анализатор спектра и генератор сигналов произвольной формы. Новая модель представлена в двух вариантах исполнения: АКИП-4114, АКИП-4114/1.

USB-осциллографы имеют четыре входных канала и полосу пропускания 350 МГц при максимальной частоте дискретизации в режиме реального времени 5 ГГц в одноканальном режиме.

Важным преимуществом новых моделей является большой объём внутренней памяти. У осциллографа АКИП-4114 он составляет 1 Гвыб., а у АКИП-4114/1 – 32 Мвыб. (в одноканальном режиме).

Генератор сигналов оснащён 12-битным ЦАП с максимальной частотой дискретизации 200 МГц. ПО генератора позволяет генерировать стандартные сигналы из библиотеки (синус, полусинус, меандр, треугольник, пила, $\sin x/x$, гауссов сигнал, «белый» шум и др.), а также сигналы произвольной формы, сформированные пользователем. Имеется буфер объёмом 16 384 точек для формирования выходного сигнала. Диапазон выходных частот до 20 МГц.

Режим «Анализатор спектра» реализован на основе БПФ, обеспечивает частотный анализ в диапазоне частот до 350 МГц и позволяет выполнять спектральное разложение на длине 1 млн. точек.

www.prist.ru

Тел.: (495) 777-5591



Реализация преимуществ интерфейса Bluetooth во встроенных системах

Пётр Павлов (Москва)

Цифровые программируемые системы управления постепенно вытесняют контроллеры с жёсткой логикой. При этом в специализированных встроенных системах всё чаще используются компьютерные архитектуры, т.е. вычислительные модули на основе одноплатных компьютеров с архитектурой процессоров x86 и системами ввода/вывода на основе стандартных интерфейсов ПК. Одним из таких интерфейсов, внедряемых в промышленные встроенные системы, является Bluetooth.

ВВЕДЕНИЕ

Использованию интерфейса Bluetooth в промышленных приложениях способствует то, что при создании всех его версий специальное внимание уделяется преемственности и обеспечению целостности передачи данных. Уже в версии 1.2 была реализована технология адаптивной перестройки рабочей частоты, увеличена скорость передачи и добавлена технология сохранения целостности данных посредством повторения повреждённых пакетов.

В технологии Bluetooth предусмотрен механизм запроса уведомления передающего узла об успешности или сбое при передаче данных. Для этого в заголовке имеется 1-битовое поле автоматического запроса на повторение (Automatic Repeat Request, ARR). Правильность приёма данных проверяется с помощью стандартной технологии циклического избыточного кода (CRC), который вычисляется до передачи пакета на основе его содержания.

Говоря о пакетной передаче в стандарте Bluetooth, необходимо отметить наличие в ней DH- и DM-пакетов, ориентированных на различные скорости передачи данных. Пакеты типа DH5 могут включать наибольший объём данных, однако при заданном уровне BER = 0,04% они лишь с вероятностью 33% будут приняты без ошибки, что фактически втрое снижает теоретически достижимую для этого типа пакетов скорость передачи данных. В то же время пакеты типа DM5, поддерживающие на треть меньшую скорость передачи, обеспечивают её без деградации до уровня BER = 0,4%.

В стандарте Bluetooth предусмотрен механизм «интеллектуального» выбора типа пакета для передачи данных в зависимости от уровня помех в канале связи, получивший название CQDDR (Channel Quality Driven Data Rate). Механизм CQDDR позволяет приёмному узлу «договориться» с передающим узлом об изменении типа пакетов, используемых для передачи данных. При росте BER и ухудшении статистики ошибок происходит переключение на DM-пакеты, и, наоборот, при снижении уровня помех в канале вновь начинают использоваться «быстрые» пакеты.

В версии спецификации Bluetooth 2.0 основным нововведением стала поддержка технологии Enhanced Data Rate, позволившей утроить скорость передачи данных (теоретически – до 3 Мбит/с, реально – до 2,1 Мбит/с). Микросхемы, поддерживающие протокол EDR, потребляют меньше энергии и способны поддерживать большее число приложений по сравнению с версией Bluetooth 1.2.

В спецификацию Bluetooth 2.1 добавлена технология расширенного запроса характеристик устройства и энергосберегающая технология Sniff Subrating, которая позволяет увеличить продолжительность работы устройства от аккумулятора в 3...10 раз. Это достигается за счёт «интеллектуализации» процедуры обмена сообщениями о сохранении работоспособности устройств в сети: вместо оповещений с частотой несколько раз в секунду, устройства, поддерживающие Bluetooth 2.1, могут посылать такие сообщения один раз в 5...10 с.

Кроме того, спецификация Bluetooth 2.1 существенно упрощает и ускоряет

установление связи между двумя устройствами, позволяет производить обновление ключа шифрования без разрыва соединения, а также делает указанные соединения более защищёнными благодаря использованию технологии Near Field Communication (NFC). В основе системы информационной безопасности Bluetooth лежит сеансовый ключ, который создаётся в момент соединения и затем используется для шифрования и идентификации передаваемого трафика. При необходимости разработчик может шифровать трафик на уровне приложений.

В стандарте Bluetooth уделено большое внимание достижению совместимости оборудования от разных поставщиков при работе в единой системе, а также возможности работы устройств Bluetooth в единой коммуникационной среде с другими беспроводными интерфейсами (в первую очередь, с устройствами 802.11).

В качестве примера промышленного приложения интерфейса Bluetooth можно привести систему сбора данных (data logger) BlueCenter DL141E, которая позволяет собирать данные с производительностью до 51,6 Квыборок/с; систему связи Bluetooth I/O компании Phoenix Contact, обеспечивающую двунаправленную передачу/приём 16 цифровых и двух аналоговых сигналов между двумя станциями на расстояние до нескольких сотен метров; систему программирования контроллеров Bluetooth Management System компании Schneider Electric, устанавливаемых на вышках высоковольтных линий передачи электроэнергии, а также систему программирования контроллеров аварийных состояний на линиях передачи электроэнергии (Circuit Breaker), используемую компанией ABB.

Важной характеристикой любого беспроводного интерфейса является энергопотребление, которое не должно быть чрезмерным. Помимо связанных с энергопотреблением скорости передачи данных и достижимой дальности передачи, на привлекательность интерфейса для разработчиков влияет

наличие технологии поддержки целостности передачи данных и их защиты от несанкционированного считывания.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ BLUETOOTH

К моменту написания статьи стандартизирующая Bluetooth организация – Bluetooth Special Interest Group – представила версию спецификации Bluetooth 3.0, которая обеспечит скорость в несколько раз больше 3 Мбит/с (2.0), что достаточно для передачи практически любых звуковых, графических и видеоданных.

В промышленных приложениях возрастающая скорость интерфейса Bluetooth может оказаться востребованной не только в связи с растущей популярностью графических интерфейсов, но и благодаря возможности одновременно использовать несколько Bluetooth-соединений одновременно (протокол EDR).

Вследствие интерференционных эффектов теоретический максимум пропускной способности редко достижим для беспроводной сети. Поэтому для поддержания приемлемого каче-

ства обслуживания (QoS) 40...50% составляют достаточный резерв пропускной способности. Протокол EDR уже сейчас решает задачу создания такого резерва для некоторых многоканальных приложений.

Но протокол EDR не только обеспечивает поддержку одновременной работы нескольких приложений по управлению, но и создаёт предпосылки для проектирования устройств с низким энергопотреблением. Поскольку потребление энергии пропорционально времени работы, протокол EDR, утраивая скорость передачи данных по сравнению с Bluetooth 1.2, уменьшает время нахождения системы в активном состоянии. Одним из требований к протоколу EDR было обеспечение обратной совместимости с оборудованием, созданным на основе стандарта Bluetooth 1.2. После принятия спецификации Bluetooth 2.0+EDR была обеспечена возможность построения сетей, в которых работают устройства разных поколений.

Протокол EDR

Особенностью протокола EDR является наличие дополнительных типов пакетов и использование новой моду-

ляционной схемы для передачи данных. Пакеты Bluetooth для стандартных скоростей передачи разбиты на четыре части:

- Access Code – код доступа, который позволяет получающему устройству распознать входящую передачу данных;
- Header – заголовок, который определяет тип пакета и его длину;
- Payload – данные;
- Inter-Packet Guard Band – информация о переходе на следующую частоту передачи.

В спецификации Bluetooth 1.2 все три передаваемых раздела используют технологию GFSK (Gaussian frequency-shift keying) для модуляции радиосигнала. При таком способе модуляции несущая частота изменяется на ± 160 кГц для индикации лог. 1 или лог. 0 и на один символ затрачивается один бит. Скорость передачи составляет 1 Мсимвол/с, что соответствует теоретической максимальной скорости передачи данных в 1 Мбит/с. Однако в связи с необходимостью передачи служебной информации в разделах Access Code, Header и Inter-Packet Guard Band реальная полезная пропускная



Модули и конструктивы стандартных форматов VPX, VME, CompactPCI, XMC/PMC для ответственных применений и тяжелых условий эксплуатации



**CURTISS
WRIGHT** Controls
Embedded Computing



Одноплатные компьютеры, процессоры ЦОС, графические контроллеры и модули ввода и обработки видеоизображений, контроллеры коммуникационных интерфейсов, модули ввода и обработки высокочастотных аналоговых сигналов, коммутаторы и маршрутизаторы, устройства записи высокоскоростных потоковых данных, бортовые корпуса и готовые специализированные подсистемы.

AVD Systems (499) 148-9677 avdsys@aha.ru www.avdsys.ru

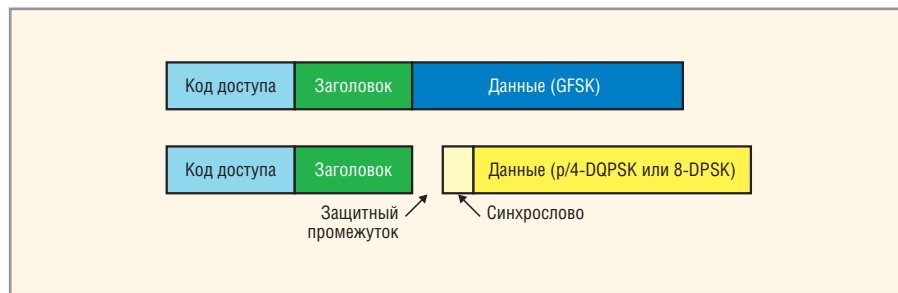


Рис. 1. Структура пакета EDR

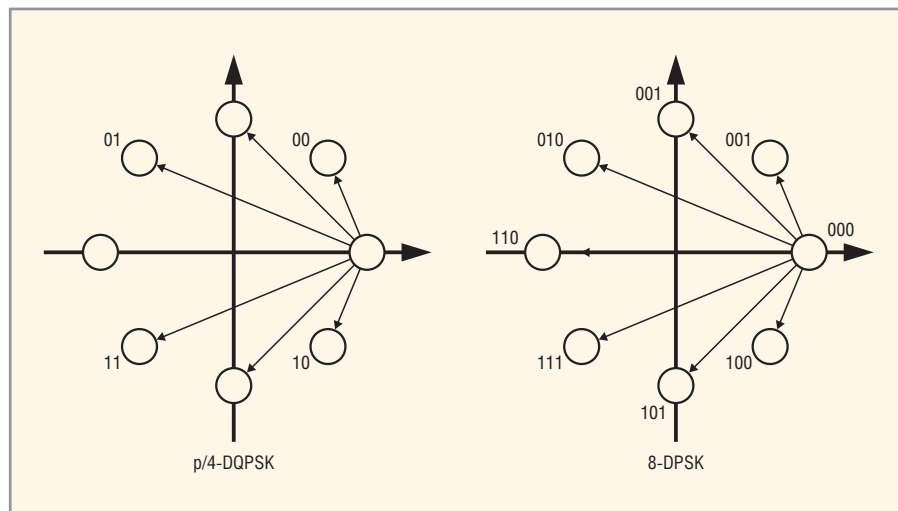


Рис. 2. Диаграммы направленности для схем модуляции 4-DQPSK и 8-DPSK

способность канала (payload data rate) не превышает 723 Кбит/с.

В спецификации Bluetooth 2.0 в пакетах EDR по-прежнему используется GFSK-модуляция для разделов Access Code и Header. Однако для передачи данных можно использовать два типа модуляции. При этом в новом протоколе приходится помещать небольшие последовательности, служащие для синхронизации и создания защитных промежутков Guard Band (см. рис. 1).

Повышение скорости передачи до 2 и 3 Мбит/с

Удвоение скорости передачи данных до 2 Мбит/с достигается за счёт технологии p/4-DQPSK (p/4 Differential Quaternary Phase-Shift Keying). Поскольку для каждого символа возможны четыре значения фазы, два бита информации возможно кодировать одним символом, что обуславливает двукратное увеличение скорости передачи данных. Модуляция p/4-DQPSK является дифференциальной, т.к. определяет фазовую позицию каждого символа относительно предыдущей позиции. Обозначение p/4 означает, что дифференциальный сдвиг составляет $+3\pi/4$, $+\pi/4$, $\pi/4$ или $3\pi/4$ ($+135^\circ$, $+45^\circ$, -45° или -135°).

Теоретически возможны восемь фазовых позиций, разделённых интервалом 45° . Тем не менее, при разработке протокола EDR для кодирования символов были выбраны только позиции, разделённые интервалом 90° (см. рис. 2).

Утроенная скорость передачи данных (3 Мбит/с) достигается за счёт использования восьмиуровневой дифференциальной фазовой модуляции (8-phase Differential Phase-Shift Keying или 8-DPSK), в которой дифференциальный сдвиг обеспечивается на восемь возможных фазовых «уровней», разнесённых на 45° (см. рис. 2).

Передача сигнала с использованием 8-DPSK-модуляции более чувствительна к интерференционным помехам. Тем не менее, пиковая теоретическая скорость передачи данных по протоколу EDR может достигать 3 Мбит/с за счёт кодирования трёх битов данных одним символом.

«Быстрые» пакеты

Спецификация Bluetooth 2.0 определила десять новых пакетов данных: по пять для удвоенной и утроенной скорости передачи соответственно. Два из пяти пакетов предназначены для синхронного соединения и имеют три и

пять слотов (Synchronous Connection Oriented или eSCO). Их использование подразумевает наличие резервов полосы пропускания. Эти пакеты предназначены в основном для передачи голоса. Для асинхронной передачи данных предназначены пакеты с 1, 3 и 5 слотами (Asynchronous ConnectionLess/ACL packets).

В новых пакетах не предусмотрена прямая коррекция ошибок (Forward Error Correction, FEC). Вместо этого расширены возможности существующего алгоритма управления скоростью передачи данных для поддержания качества передачи (алгоритм CQDDR). При необходимости последний обеспечивает переключение режима передачи в стандартный режим с поддержкой механизма FEC.

Интересным аспектом спецификации Bluetooth 2.0 является идентификация новых EDR-пакетов в заголовке (packet header), что позволяет приёмнику определять момент смены типа модуляции при переходе от заголовка пакета к его содержимому.

В заголовке пакета зарезервировано четыре бита для его идентификации. Этого достаточно для описания 15 типов пакетов, определённых спецификацией Bluetooth 1.1. Однако добавление 10 новых типов пакетов протокола EDR и трёх дополнительных eSCO-пакетов, поддерживаемых при стандартной скорости передачи данных (Bluetooth 1.2), исчерпывает ресурсы заголовка. Решение найдено введением «режима связи в канале» и созданием нового типа сообщения, которым узлы, поддерживающие режим EDR, обмениваются для переключения между режимами. Один из режимов связи характеризуется скоростью передачи 1 Мбит/с, соответствующей стандартной.

При работе узлов, поддерживающих протокол EDR, последние могут обмениваться сообщениями, подтверждающими их «согласие» на обмен данными со скоростью от 2 до 3 Мбит/с. В этих режимах одинаковая кодировка в заголовках пакетов интерпретируется по-разному. Например, в режиме, характеризующемся скоростью 1 Мбит/с, код 1011 обозначает трёхслотовый пакет, передаваемый на стандартной скорости без коррекции ошибок; в режиме работы со скоростью от 2 до 3 Мбит/с код 1011 обозначает трёхслотовый пакет, передаваемый на утроенной скорости.

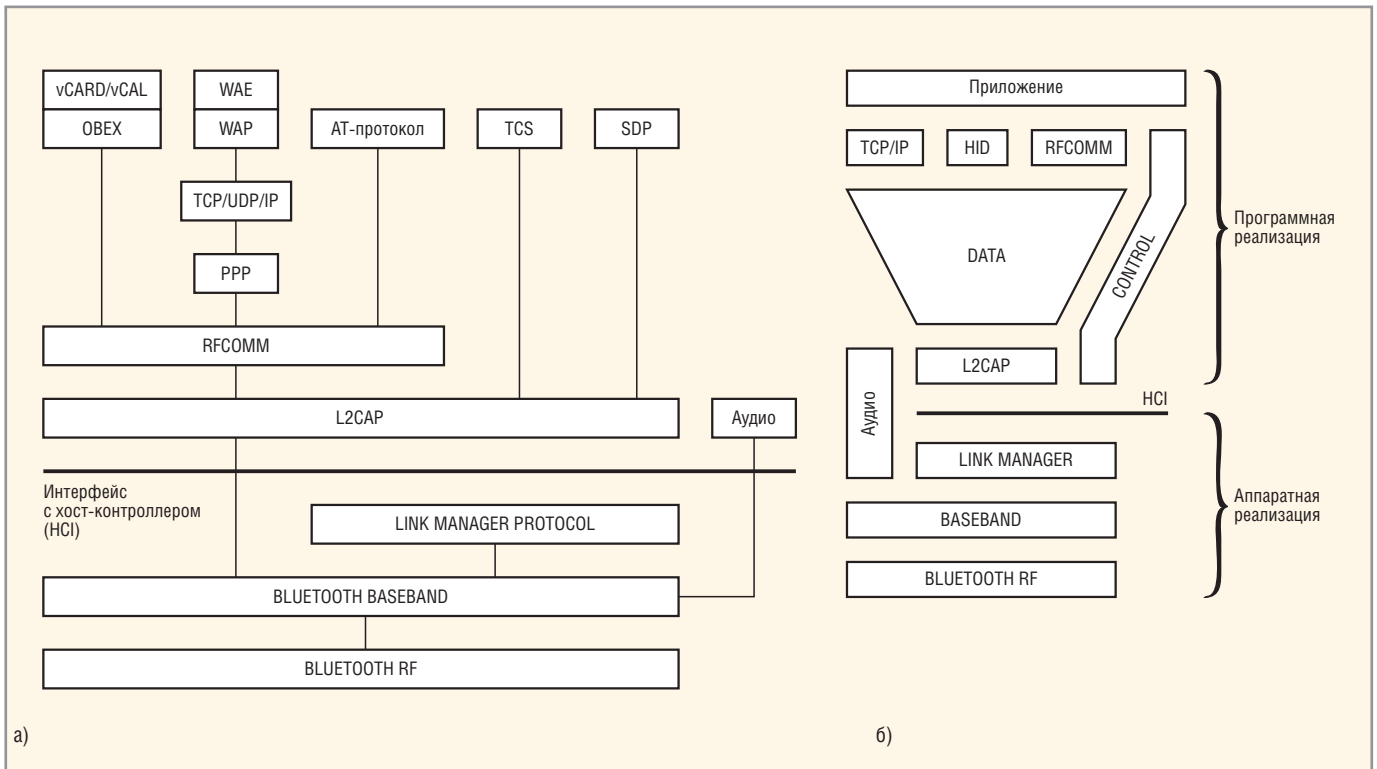


Рис. 3. Стек протоколов Bluetooth и принципы его реализации

Всё вышесказанное относится к уровням стека протоколов Bluetooth, расположенным ниже интерфейса HCI (Host Controller Interface) (см. рис. 3), и реализовано в специализированных ИС.

Воплощение интерфейса Bluetooth в «кремнии»

Продукты Bluetooth предлагаются на рынке как в виде ИС, так и в виде модулей, объединяющих несколько микросхем. В качестве примера можно рассмотреть микросхему PMB8753 компании Infineon, которая имеет блок-схему, изображённую на рисунке 3б. Микросхема PMB8753 содержит (см. рис. 4) универсальный процессор на основе ядра ARM7, который позволяет реализовать программный уровень (см. рис. 3б), а также специализированную связку процессора и трансивера, поддерживающую интерфейс Bluetooth на основе спецификации Bluetooth 2.0+EDR.

Важной особенностью ИС типа PMB8753 является аппаратная поддержка в соответствии со стандартом IEEE 802.15.2 (Packet Traffic Arbitration) «бесконфликтной» работы систем на её основе в случае их одновременного подключения к сети Bluetooth и к беспроводной локальной сети (WLAN): схема контроля ИС не допускает одновременную работу радиоканалов WLAN и Bluetooth.

Предварительное воплощение идей, заложенных в спецификацию Bluetooth 3.0, можно рассмотреть на примере микросхемы BCM2070 компании Broadcom (BCM2070 Bluetooth Processor) – однокристального решения на основе спецификации Bluetooth 2.1+EDR. В этой ИС реализованы:

- поддержка спецификаций Bluetooth 1.1, 1.2, 2.0 и 2.1, включая передачу данных со скоростью 1, 2 и 3 Мбит/с на основе протокола EDR;
- набор интерфейсов UART, USB, H4, H5, USB, SDIO, I²C и возможность работы с флэш-памятью по последовательному или параллельному интерфейсам;
- возможность поддержки приложений, которым необходимо работать в сетях WLAN и WiMAX;
- специальная схема маршрутизации пакетов для поддержки пяти одновременно работающих звуковых потоков (служба bluetooth voice базового стандарта может одновременно передавать три звуковых потока).

Для OEM-производителей промышленных встроенных систем компания lesswireAG в качестве универсального модуля связи Bluetooth предлагает плату BlueSy, которая позволяет интегрировать во встроенную систему интерфейс на основе спецификации Bluetooth 2.0+EDR, обеспечивающий связь на расстоянии до 500 м с временем задержки до 5 мс. В основе

конструкции платы BlueSy лежит набор ИС CSR-BC04 и ядро процессора ARM7 (см. рис. 5).

Особенностью данного модуля являются «промышленные» характеристики дальности связи и времени задержки при умеренном энергопотреблении (3,3 В/140 мА (макс.)). Конструктивные особенности модуля BlueSy компании lesswireAG приведены в таблице.

По данным IMS Research, рынок Bluetooth-микросхем растёт, а цены на кристаллы падают (снижение цен может составить 40% до 2013 г.). Лидерами рынка «кремния» для Bluetooth являются компании CSR, Broadcom и Texas Instruments. По данным IDC, в 2008 г. объём рынка Bluetooth-микросхем составил 1,9 млрд. долл. и может достичь 2,2 млрд. долл. в 2009 г. Эксперты компании IDC предполагают, что продажи на этом сегменте рынка в период 2007–2012 гг. вырастут с 1,7 млрд. долл. до 3,3 млрд. долл.

Значительная доля этого рынка определяется потребительской электроникой и компьютерной техникой, однако разработчики промышленных приложений всё чаще обращают внимание на технологию Bluetooth. Этот рынок выглядит привлекательным для новых компаний развивающихся рынков благодаря не только своей ёмкости, но и открытости стандарта Bluetooth, и организационной опеке развития стандарта со стороны

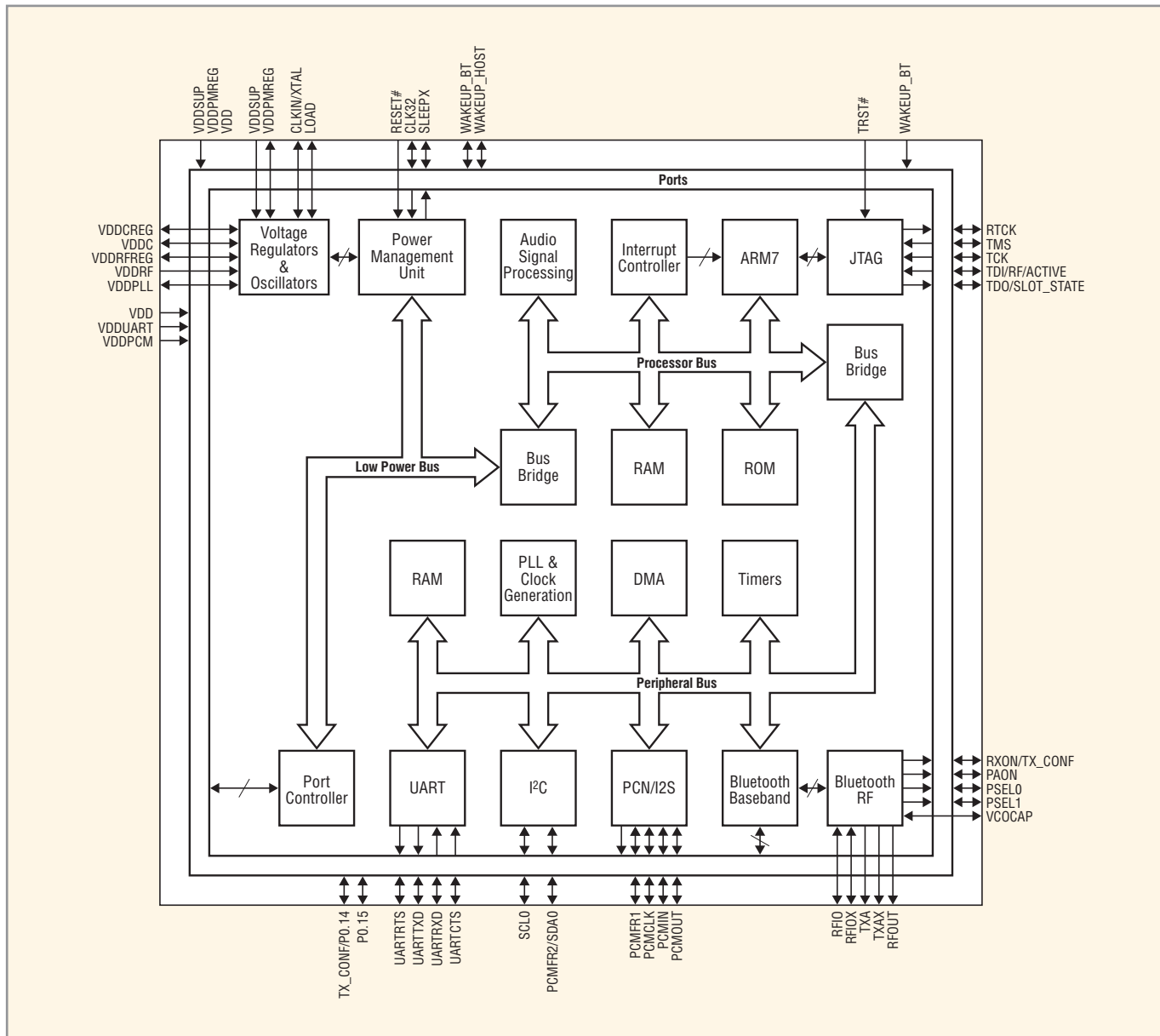


Рис. 4. Блок-схема интегральной микросхемы PMB8753 компании Infineon

Bluetooth Special Interest Group. Заботами этой организации обеспечивается совместимость реализаций технологии Bluetooth в микросхемах и модулях разных производителей за счёт стандартизации т.н. профилей – протоколов и функций, через которые Bluetooth-уст-

ройства взаимодействуют с другими устройствами.

Основой для создания всех профилей служит профиль общего доступа (Generic Access Profile, GAP). Профили передачи данных строятся на базе профиля Generic Object Exchange Profile (GOEP),

который основан на протоколе обмена объектами OBEX (Object EXchange). Профиль File Transfer Profile (FTP) обеспечивает доступ к файлам, поддерживая стандартный набор команд FTP. Профиль Human Interface Device Profile (HID) отвечает за работу с джойстиком, клавиатурой и т.п. Стандартное соединение по RS-232 позволяет реализовать профиль Serial Port Profile (SPP), а профиль Personal Area Networking Profile (PAN) обеспечивает использование протокола Bluetooth Network Encapsulation в качестве транспортного через канал Bluetooth. Всего существует около трёх десятков профилей, охватывающих наиболее популярные задачи; их набор постоянно пополняется.

Если говорить о конкретных участниках рынка встраиваемых Bluetooth-систем для промышленных приложений, то, наряду с несколькими десятками ки-

Конструктивные особенности модуля BlueSy компании lesswireAG

Bluetooth Radio	Class 1
Выходная мощность	Макс. +21 дБм (Class 1) (регулируемая)
Чувствительность на входе	-94 дБм (типичное значение), BER < 0,1%
Рабочие температуры	-40...85°C
Питание	3,3 В/140 мА (макс.)
Обновление микропрограммы	Через порт SPI
Информационная безопасность	PIN Code
Уровень защиты	Security level 3 (защита инициализируется в процессе установления и настройки соединения; в случае, если второе устройство не может выполнить требования безопасности, соединение разрывается)
Шифрование	128-битное
Габариты, мм	45,0 × 20,0 × 3,0

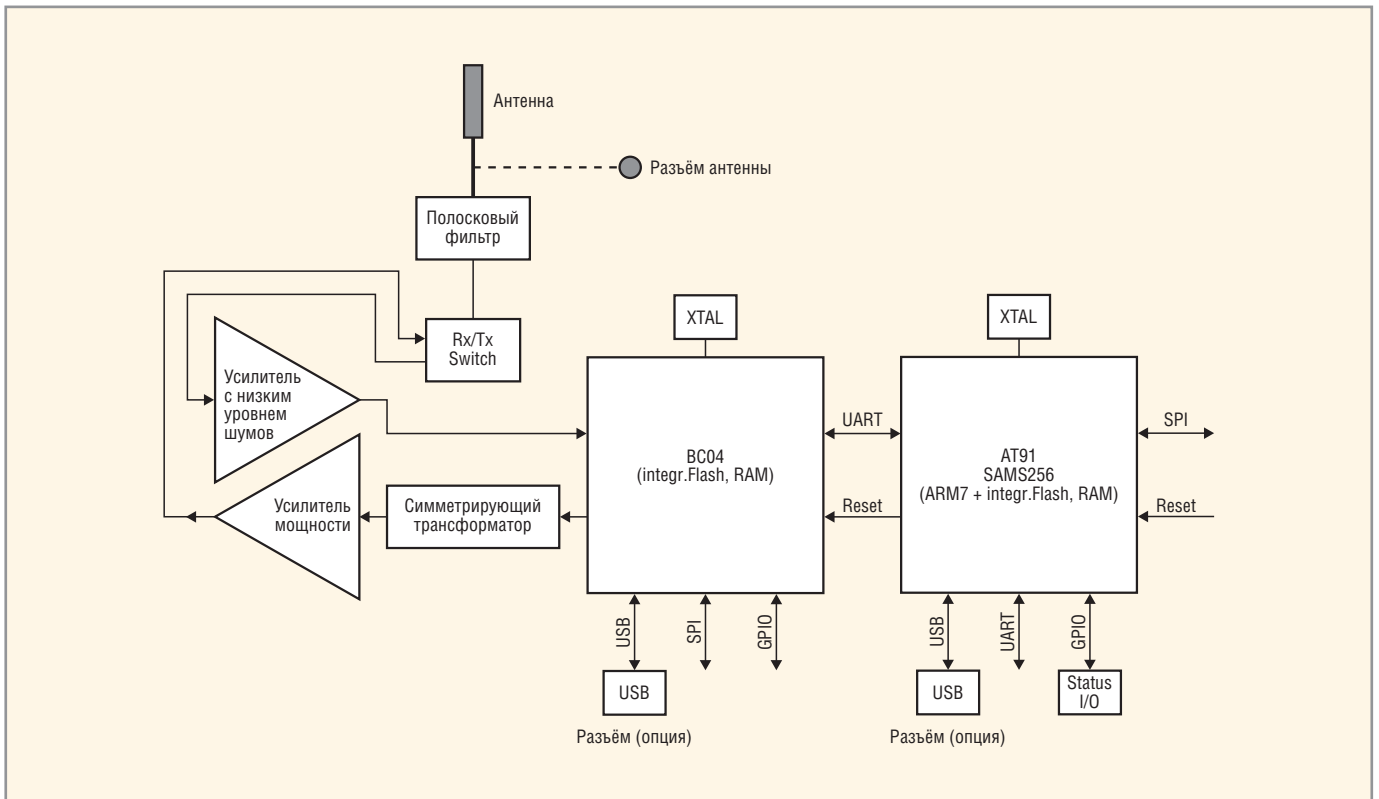


Рис. 5. Блок-схема универсального модуля связи Bluetooth для OEM производителей компания lesswireAG

тайских компаний (<http://www.globalsources.com/gsol/I/Bluetooth-module-manufacturers>), на нём

присутствуют компании из Европы и США: lesswireAG из Германии, финская Bluegiga, Grid Connect из США и ряд дру-

гих, существующих на рынке столько же времени, сколько существует сам стандарт Bluetooth. ©

Интернет магазин
Elitan.ru

МОСКВА
телефон (495)
649-84-45
Факс 495 646-80-01

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
телефон (812)
313-28-33
Факс 812 313-28-44

ИЖЕВСК
телефон (3412)
50-33-30
Факс 3412 51-84-29

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОМПЛЕКТУЮЩИЕ

1 000 000 товаров от 999 изготовителей

- Минимальный заказ не ограничен
- 12 способов доставки по России и за рубеж
- Удобная система оплаты: Банк, VISA, MasterCard, Webmoney, ЯндексДеньги, RBK Money.
- Ежедневное обновление склада
- Отслеживание состояния заказа через сайт

Реклама

Технологические особенности производства мощных светодиодов и светодиодных матриц

Евгений Горелик (Санкт-Петербург), Йозеф Шмидл (Германия), Дэн Эванс (США)

В статье рассматриваются особенности производства светодиодных матриц и устройств на мощных светодиодах, вопросы обеспечения низкой рабочей температуры кристаллов, а также другие факторы, влияющие на срок службы, качество и надёжность светоизлучающих устройств.

Производство устройств различного назначения, использующих в своей конструкции светоизлучающие диоды, стремительно растёт. Как известно, светодиоды обладают высокой яркостью, экономичностью и мобильностью. Они являются прекрасной заменой ламп накаливания и используются во многих областях благодаря тому, что затрачивают меньше энергии, имеют большой срок годности, малочувствительны к перепадам температур и могут излучать свет различных цветов.

Светодиоды используются в автомобильном оборудовании, осветительных и самосветящихся приборах, спортивных принадлежностях, в производстве фотоаппаратов, в подсветке дисплеев и системах визуализации изображений, а также для освещения зданий и изготовления светящихся рекламных вывесок. Устройства, в которых используются объёмные индикаторные светодиоды, известны давно, и технология производства корпусных приборов хорошо отработана. Светодиодные индикаторы, как правило, обладают невысокой мощностью и светоотдачей.

Совсем другая ситуация возникает с бескорпусными светодиодами для светодиодных матриц и сверхъяркими

светодиодами для осветительных устройств: уровни мощности и светоотдачи здесь существенно выше, поэтому таким приборам необходимо обеспечить адекватный теплоотвод.

Как известно, существует два фактора (без учёта качества самого светоизлучающего кристалла), определяющих качество и долговечность устройства с использованием мощных светодиодов: первый – качество сварных соединений, второй – эффективность теплоотвода от кристалла. Светодиодные матрицы, по сравнению с однокристалльными решениями, требуют установки кристалла на носитель и микросварки соответствующих контактных площадок кристалла и подложки.

Существует несколько уровней интеграции светодиодов в структуры. В простых светодиодных линейках каждый светодиод разваривается на контактную площадку подложки с помощью микропровода. В соответствии со структурой проводящего рисунка подложки, управление может осуществляться каждым диодом в отдельности либо группами светодиодов.

Если применяются светодиоды высокой яркости, например, в устройствах уличного освещения или подсветки изображения в видеопроекторах, приборы интегрируются по матричному принципу, располагаясь плотными рядами и столбцами, что позволяет достигать максимальной плотности и равномерности светового потока. Подобная светодиодная матрица показана на рисунке 1. Здесь количество и плотность светодиодов требуют высочайшей теплопроводности между кристаллом и носителем, чтобы обеспечить максимально низкую рабочую температуру светодиодов.

Процесс производства матричных светодиодов содержит ряд этапов, в том числе:

- подготовка материалов;
- установка кристалла на носитель;
- импульсное оплавление;
- очистка;
- микросварка проволокой;
- тестирование.

В данной статье основное внимание уделяется двум аспектам этого процесса – импульсному оплавлению, подразумевающему посадку кристаллов на эвтектические припои, и микросварке проволокой.

Наиболее критичным с точки зрения обеспечения качественного теплоотвода от кристалла является создание беспористого интерфейса эвтектического соединения между светодиодом и подложкой. Наличие пузырьков и полостей в контактном интерфейсе приведёт к образованию зон локального перегрева, снижению эффективности теплоотвода и, как следствие, повреждению светодиода и выходу его из строя. Через эвтектическое соединение переносится огромное количество тепла, вырабатываемого матрицей, поэтому от строгого контроля процесса формирования эвтектического соединения зависит надёжность и срок службы светоизлучающего устройства.

Создание светодиодных матриц является в высшей степени термочувствительным процессом и требует тщательного контроля времени и температуры на всех стадиях формирования соединения: при монтаже кристалла, оплавлении преформ и собственно импульсном оплавлении. Температурный профиль должен быть легко повторяемым, с правильным выходом на высокотемпературный процесс, с точным поддержанием температуры эвтектики (без перегрева и провалов) и контролируемым охлаждением по завершении высокотемпературной фазы.

Программируемое и контролируемое охлаждение является важнейшим этапом выполнения температурного про-



Рис. 1. Общий вид светодиодной матрицы

филя, поскольку оно призвано минимизировать дефекты кристалла и обеспечить металлургическое равновесие в материале эвтектического соединения.

После завершения стадии монтажа кристаллов на подложку выполняется создание электрических соединений между элементами матрицы. Высокие плотность монтажа и рабочие частоты светодиодных матриц однозначно определяют метод соединения – микросварку проволокой. Существует несколько способов такой сварки, в частности, «клин-клин» и «шарик-клин». Большой объём экспериментальных данных, полученных разными исследователями (в частности, лабораторией компании Palomar Technologies), показывает, что для создания цепных соединений в светодиодных матрицах предпочтительно использовать шариковую сварку золотой проволокой.

Рассмотрим далее несколько факторов, определяющих характеристики сварного соединения и иллюстрирующих превосходство шариковой сварки по сравнению с клиновой:

- *плотность монтажа.* Изначально – в 90-х годах, когда разрабатывалась

методика шариковой сварки, – материалы и качество обработки капилляров не позволяли обеспечить сварку на контактных площадках менее 90 мкм, тогда как клиновая сварка позволяла оперировать на площадках порядка 30 мкм. В настоящее время такой проблемы нет – новые технологии изготовления и обработки поверхностей капилляров в сочетании с новыми керамическими материалами для них позволяют с легкостью достигать требуемых размеров при шариковой сварке. На данный момент совершенство инструмента для шариковой сварки позволяет выполнять с её помощью любую задачу, решаемую при помощи клиновой сварки. Более того, благодаря вертикальной подаче проволоки сварка может с лёгкостью выполняться на тех участках, где сложно или вовсе невозможно использовать стандартный клиновой инструмент;

- *качество сварного соединения.* Сравнительно большая, чем при клиновой сварке, площадь соприкосновения шарика с контактной площад-

кой обеспечивает высокую однородность интерфейса проволока/площадка. Электрические и термические свойства такого соединения крайне высоки. Традиционно считалось, что высокое качество первого (шарикового) контакта петли компенсируется сравнительно низким качеством второго (условно клинового) контакта. Однако, с совершенствованием техники и технологии шариковой сварки эта проблема перестала быть существенной. Качество исполнения второго сварного соединения на современной специализированной аппаратуре не уступает лучшим сварным соединениям, выполненным клиновым инструментом, – это однозначно доказывают испытания на отрыв, проводимые обычно согласно стандарту Mil-Std-883 (метод 2011) (данные предоставлены лабораторией Palomar Technologies);

- *скорость монтажа.* Превосходство шариковой сварки в скорости, особенно при формировании цепных соединений, обеспечивается особенностями сварочной головки таких

абсолют
ЭЛЕКТРОНИКА

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

решения для производства МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

- материалы
- оборудование
- комплектующие
- КОМПОНЕНТЫ ЧИСТЫХ КОМНАТ

Более подробную информацию Вы можете получить на сайте www.absoluteelectronics.ru, либо сделать запрос по адресу sales@absoluteelectronics.ru

WWW.ABSOLUTELECTRONICS.RU

Реклама

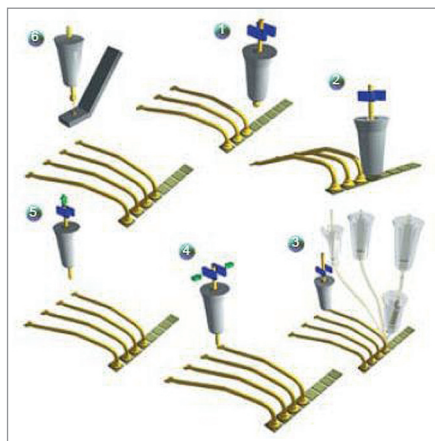


Рис. 2. Схема процесса микросварки методом «шарик-шарик»

машин. Поскольку подача проволоки всегда осуществляется строго вертикально, а геометрия сварного соединения подразумевает абсолютную симметрию, отпадает необходимость вращения и позиционирования сварочного инструмента в плоскости θ . Также благодаря симметрии обеспечивается одинаковое качество формирования петель при работе в любом направлении, при работе в глубоком колодце, при формировании длинных и/или высоких петель при многослойной сварке. Дополнительным плюсом является возможность изменения направления сварки на любой угол без скручивания и переломов проволоки, неизбежных при существенной смене углов в клиновой сварке.

Стандартная технология шариковой сварки подразумевает создание шарика на конце золотой проволоки и размещение этого шарика на контактной площадке кристалла. Затем создаётся проволочная петля до второй контактной площадки, где выполняется сварка, близкая по своим характеристикам к клиновой, с последующей отсечкой проволоки. Схематическое изображение процесса показано на рисунке 2.

В некоторых случаях для повышения надёжности второй сварки поверх кон-

такта монтируется дополнительный шарик, затем проволока отсекается либо создаётся следующая петля. Цепное соединение является частным случаем шариковой сварки: проволока не отсекается после создания второй контактной точки, а вместо этого создаётся новая петля. Варианты сварки «шарик-шарик» и цепной шариковой сварки показаны на рисунке 3.

Цепная шариковая микросварка не относится к новинкам технологии – она появилась достаточно давно. Однако, в связи с увеличением объёмов производства светодиодных матриц, эта технология была существенно доработана. Преимуществом цепной сварки по сравнению со стандартной шариковой сваркой является отсутствие необходимости формирования начального шарика для последующего соединения. Это позволяет значительно повысить скорость сварки, а также, за счёт оптимизации геометрии сварного соединения, уменьшить потери излучаемого света. Кроме того, цепное соединение демонстрирует более высокую прочность петель при испытании на отрыв.

В настоящее время микросварка «шарик-шарик», и в частности цепная шариковая микросварка для матричных изделий, наиболее широко используется при создании соединений в светоизлучающих диодах. В совокупности технология монтажа на эвтектику и шариковая микросварка позволяют достигать оптимального качества изделий на основе светодиодов, обеспечивают длительный срок службы, эффективный теплоотвод и высокий уровень светоотдачи.

Следует отметить, что при использовании сверхмощных и лазерных светодиодов качество теплоотвода, обеспечиваемое технологией монтажа кристаллов на эвтектику, оказывается недостаточным, поскольку сама подложка не способна перенести требуемый поток тепла. В этом случае применяются специализирован-

ные теплопроводящие композиции – DBC-микрочанальные структуры и керамические радиаторы различных конструкций.

Микрочанальные структуры на основе DBC-керамики (Direct Bonded Copper substrate) для охлаждения лазерных диодов состоят из нескольких слоёв чистой меди с протравленными в них микроструктурами, которые образуют трёхмерную систему, способную обеспечить эффективное охлаждение устройств с высокой теплоотдачей. Структура каждого слоя является предметом тщательного проектирования и моделирования, что позволяет максимально удовлетворять специфические требования, предъявляемые к конкретному устройству.

Набор из медных слоёв с индивидуально разработанной микроструктурой может быть объединён в единую монолитную структуру при помощи запатентованного процесса сращивания. Преимущество этого процесса, по сравнению со сваркой, склейкой или накатыванием слоёв, заключается в отсутствии негативного влияния термического сопротивления, которое ухудшает тепловые свойства готовой структуры при использовании стандартных процессов. Для достижения требуемой гладкости поверхности, необходимой для монтажа диодов, поверхностные и торцевые части радиатора могут быть обработаны с применением алмазного инструмента. На внутренние поверхности структур наносятся электролитические покрытия (Ni/Au), обеспечивающие коррозионную стойкость теплоотвода и значительно увеличивающие срок его службы.

Подобные радиаторы применяются для охлаждения лазерных диодов в диапазоне мощностей от 20 до 100 Вт и выше. Такие приборы используются в мощных диодных сборках, применяемых, например, в лазерах с диодной накачкой или в промышленных, медицинских и военных лазерах. Общий вид структуры радиаторов и симуляция тепловых процессов в нём приведены на рисунке 4 (материал предоставлен фирмой Electrovac-Curamic).

Использование микрочанальных DBC-структур для активного жидкостного охлаждения мощных устройств является радикальным методом поддержания низкой рабочей температуры. Более простым и традиционным в этом смысле является применение цельнокерамических радиаторов из

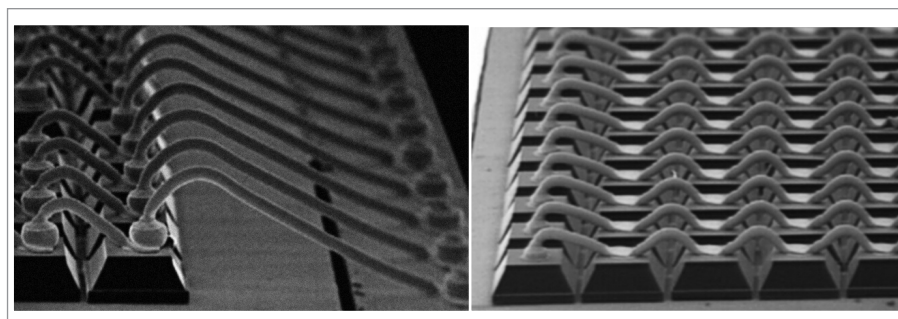


Рис. 3. Микросварка «шарик-шарик» и цепная шариковая микросварка

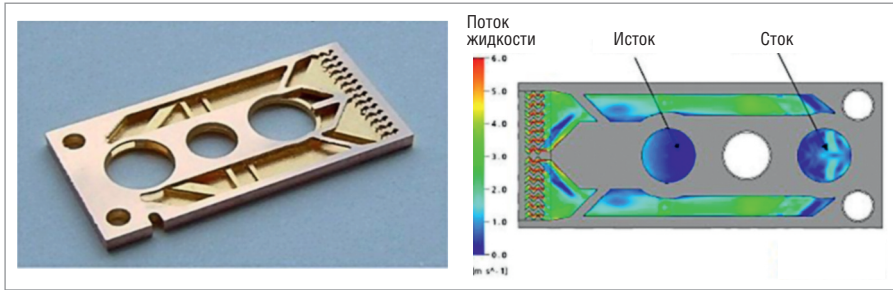


Рис. 4. Внутренняя структура микроканального теплоотвода и симуляция потоков жидкости в нём



Рис. 5. Керамические радиаторы

оксида и нитрида алюминия. Форма таких радиаторов может быть оптимизирована для конкретного применения, а на торцевой стороне изделия может быть выполнен проводящий рисунок, что позволяет осуществлять

монтаж светодиодов без использования буферного носителя.

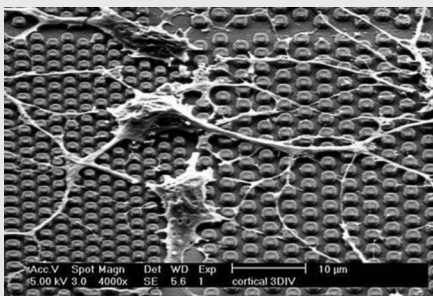
Высокие электрические, теплопроводные и частотные свойства керамики на основе алюминия (Al_2O_3 и AlN) обуславливают её широкое при-

менение в качестве базового материала для поверхностного монтажа бескорпусных компонентов высокой мощности. Примеры конструкций керамических радиаторов показаны на рисунке 5. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Разработан микрочип, связывающий электронику и живые клетки

Бельгийский IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre – Межвузовский центр микроэлектроники) представил уникальный чип с микроскопическими структурами, которые способствуют взаимодействию между электроникой и биологическими клетками. Разработка может изготавливаться в массовых масштабах; она проста в использовании для электрофизиологических исследований, например, функционирования и дисфункций мозга. Каждая структура выступает как контактная точка для одной клетки и содержит электрод, который с большой точностью записывает в реальном времени электрическую активность индивидуальной электрогенной клетки в сети.



Электрогенные клетки, такие как кардиомиоциты (клетки сердца) или нейроны, используют электрические сигналы для коммуникации друг с другом. Данные об электрической активности важны для понимания процесса взаимодействия между клетками, объяснения причин расстройств наподобие болезней Альцгеймера или Паркинсона, а также для подтверждения действия медицинских препаратов в борьбе с сердечными патологиями. Согласно заявлению IMEC, её чип – идеальный

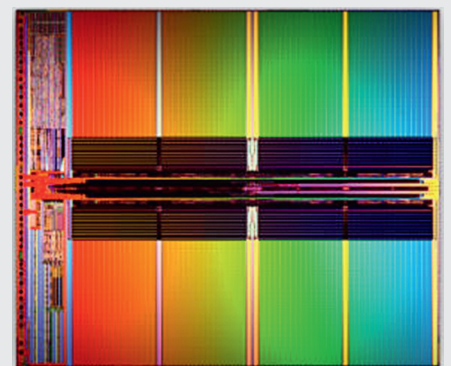
инструмент в изучении механизмов межклеточной связи. Размер электродов меньше размера самих клеток, а в состав входят металлическое основание, покрытое слоем оксида, и проводящий стержень из золота или нитрида титана. Когда клетки помещены на поверхность чипа, их мембраны окружают электроды, создавая контакт, достаточный для записи активности или стимулирования живых структур.

По словам исследователей, им пришлось преодолеть ряд сложностей в ходе разработки чипа, в том числе связанных с сохранением клеток живыми. Директор отдела бионаноэлектронных систем IMEC Крис Верстрекен (Kris Verstreken) напоминает, что о функционировании мозга до сих пор известно немного. Например, где появляются эмоции, как создаются воспоминания, каковы причины болезни Альцгеймера – эти вопросы пока остаются без ответа. Нейроны очень пластичны, непрерывно формируют новые связи и разрывают либо восстанавливают другие. Но каков механизм этих действий и какие из связей отвечают за обучение и развитие? В долгосрочной перспективе Верстрекен надеется использовать полученные с помощью чипа знания для диагностики заболеваний или даже поиска терапии путём побуждения клеток к созданию новых связей, например, после ишемического инсульта.

www.sciencedaily.com

Цены на SSD снизятся в 2011 г. с переходом на 20 нм

Как сообщают обозреватели полупроводниковой индустрии Тайваня и Китая, в 2011 г. стоимость микросхем NAND существенно понизится вместе с переходом



крупнейших поставщиков чипов на 20-нм техпроцесс. До этого момента SSD-диски не смогут занять сравнимую с HDD долю среди накопителей для персональных компьютеров. Подобная точка зрения была высказана игроками рынка на симпозиуме в Тайбэе. Среди участников были топ-менеджеры таких производителей памяти, как A-Data Technology, Condel Technology, JMicron Technology и Silicon Motion Technology.

В ходе встречи было высказано обращение к китайским и тайваньским компаниям с призывом совместными усилиями разработать и стандартизировать единые спецификации для SSD, а также продвигать ключевые технологии, ныне контролируемые международными поставщиками. Флэш-накопители действительно далеко не в выигрышной позиции на рынке массовых устройств хранения данных. Например, недавно представленная OCZ серия Colossus включает модели от 128-Гб (стоимостью около \$500) до 1-Тб (более \$3000). Поэтому в основном SSD позиционируются как дополнительные диски для ускорения работы критичных к скорости программ, включая загрузку ОС, и в качестве решений для корпоративного сектора и энтузиастов.

digitimes.com

Особенности схемотехники ИС драйверов светодиодов RGB

Игорь Безверхний (г. Киев, Украина)

В статье приведено описание схемотехники нескольких микросхем драйверов RGB, предлагаемых фирмами ON Semiconductor, STMicroelectronics и National Semiconductor для различных применений. Большая часть этих микросхем управляется внешним контроллером и для расширения возможностей допускает каскадное включение.

В последние годы сверхяркие светодиоды красного (R), зелёного (G) и синего (B) цвета свечения нашли широкое применение в устройствах декоративного и архитектурного освещения, а также в различных информационно-рекламных табло и экранах. В осветительной аппаратуре и декоративных светильниках применяются т.н. RGB-кластеры. В малогабаритной аппаратуре, вплоть до MP3-проигрывателей и сотовых телефонов, всё чаще используются трёхцветные RGB-светодиоды. Для оптимального управления яркостью и цветностью в таких устройствах применяются специали-

зированные драйверы, управляемые внешними контроллерами.

Трёхканальный RGB-драйвер светодиодов со стабилизацией тока CAT4109 производства ON Semiconductor

Микросхема CAT4109 представляет собой драйвер для управления тремя последовательными (R, G и B) цепочками светодиодов со стабилизацией тока, отдельной установкой и ШИМ-регулировкой яркости свечения светодиодов. ИС типа CAT4109 изготавливается в миниатюрном кор-

пусе SOIC-16. Назначение выводов микросхемы приведено в таблице 1, схема включения ИС показана на рисунке 1, а функциональная схема – на рисунке 2.

Привлекательной особенностью микросхемы CAT4109 является отсутствие дросселя в схеме включения и минимум деталей обвязки. Напряжение питания CAT4109 находится в пределах 3...5,5 В, а напряжение питания светодиодных цепочек составляет 5...25 В. Изготовитель рекомендует использовать в качестве развязывающего конденсатора С1 (см. рис. 1) керамический конденсатор ёмкостью 1 мкФ.

Каждый из трёх каналов управления светодиодами состоит из регулируемого источника тока и схемы установки максимального тока (см. рис. 2). Общим для всех каналов является ИОН – источник опорного напряжения 1,2 В.

От напряжения источника питания VIN зависит максимальное количество светодиодов в каждой из цепочек. Максимальный ток каждой из последовательных цепочек светодиодов может достигать 175 мА. Ток светодиодов создаёт на открытых выходных ключах микросхемы малое падение напряжения (0,4 В). Максимальные значения токов цепочек светодиодов задаются внешними резисторами R1, R2 и R3 (выводы RSET1, RSET2 и RSET3 микросхемы).

В таблице 2 приведена зависимость этих значений от сопротивлений соответствующих резисторов установки R1, R2 и R3. Максимальное значение тока цепочки светодиодов можно приблизительно рассчитать по формуле:

$$I_{LED} \text{ (мА)} = 480 / RSET \text{ (кОм)},$$

где RSET – один из резисторов (R1, R2 или R3).

Внешнее управление микросхемой CAT4109 осуществляется контроллером через выводы OE (15), PWM1 (5), PWM2 (4) и PWM3 (3). Разрешение на включение светодиодов осуществляется высоким уровнем напряже-

Таблица 1. Назначение выводов микросхемы CAT4109

№ вывода	Обозначение	Назначение
1	PGND	Корпус силовой части
2	GND	Корпус
3	PWM3	Вход ШИМ-управления для LED3
4	PWM2	Вход ШИМ-управления для LED2
5	PWM1	Вход ШИМ-управления для LED1
6	RSET3	Вывод установки тока LED3
7	RSET2	Вывод установки тока LED2
8	RSET1	Вывод установки тока LED1
9	LED3	Вывод подключения катода LED3
10	LED2	Вывод подключения катода LED2
11	LED1	Вывод подключения катода LED1
12	NC	Свободный
13	NC	Свободный
14	NC	Свободный
15	OE	Вход разрешения. Активный уровень – высокий
16	VDD	Вход напряжения питания

Таблица 2. Зависимость токов цепочек светодиодов от сопротивления соответствующего резистора установки (выводы RSET1, RSET2 и RSET3)

Ток светодиодов, мА	Резистор RSET, кОм
20	24,9
60	8,45
100	5,23
175	3,01

ния ($\geq 1,2$ В) на входе OE (15). Временные диаграммы работы микросхемы CAT4109 показаны на рисунке 3.

Время перехода микросхемы из режима отключения (Shutdown) во включенное состояние (TPS) составляет 1,4 мкс. Выключение светодиодов по входу разрешения OE осуществляется низким уровнем ($\geq 0,4$ В) на этом входе с задержкой $TP2 = 0,6$ мкс, а повторное включение – высоким уровнем с задержкой $TP1 = 0,3$ мкс. Для перевода микросхемы CAT4109 в режим Shutdown необходимо поддержать на выводе 15 (OE) низкий потенциал в течение 4...8 мкс ($TPWRDWN$). В режиме Shutdown ток потребления микросхемы не превышает 1 мкА.

Входы PWM1 (5), PWM2 (4) и PWM3 (3) используются для отдельной ШИМ-регулировки яркости свечения цепочек светодиодов при высоком уровне напряжения на входе OE (вывод 15). Для групповой регулировки яркости свечения всех светодиодов можно подать от контроллера ШИМ сигнал на вход OE (15). Чтобы не нарушался цветовой баланс, частота этого сигнала ШИМ должна быть на порядок ниже частоты сигнала ШИМ на входах PWM1 (5), PWM2 (4) и PWM3 (3).

Микросхема CAT4109 имеет температурную защиту с порогом срабатывания 150°C и гистерезисом 20°C , а также защиту от понижения напряжения питания с порогом срабатывания 1,8 В.

**МИКРОСХЕМА CAT4103
ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ
ON SEMICONDUCTOR**

Микросхема CAT4103 также представляет собой драйвер для управления тремя последовательными (R, G и B) цепочками светодиодов со стабилизацией тока, отдельной установкой и ШИМ-регулировкой яркости свечения светодиодов. ИС также изготавливается в корпусе SOIC-16. Особенности этой микросхемы является возможность отдельного управления каждой цепочкой светодиодов с помощью последовательного интерфейса, а также каскадное включение нескольких микросхем, что увеличивает количество управляемых светодиодов от одного контроллера по четырёхпроводному интерфейсу. Назначение выводов микросхемы приведено в таблице 3. Функциональная схема микросхемы CAT4103 изображена на рисунке 4, а схема включения – на рисунке 5.

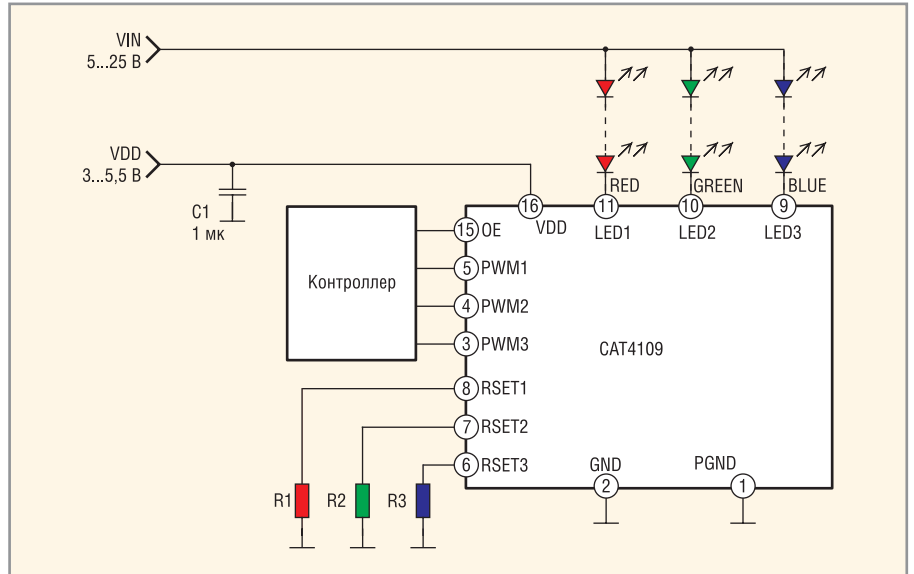


Рис. 1. Схема включения микросхемы CAT4109

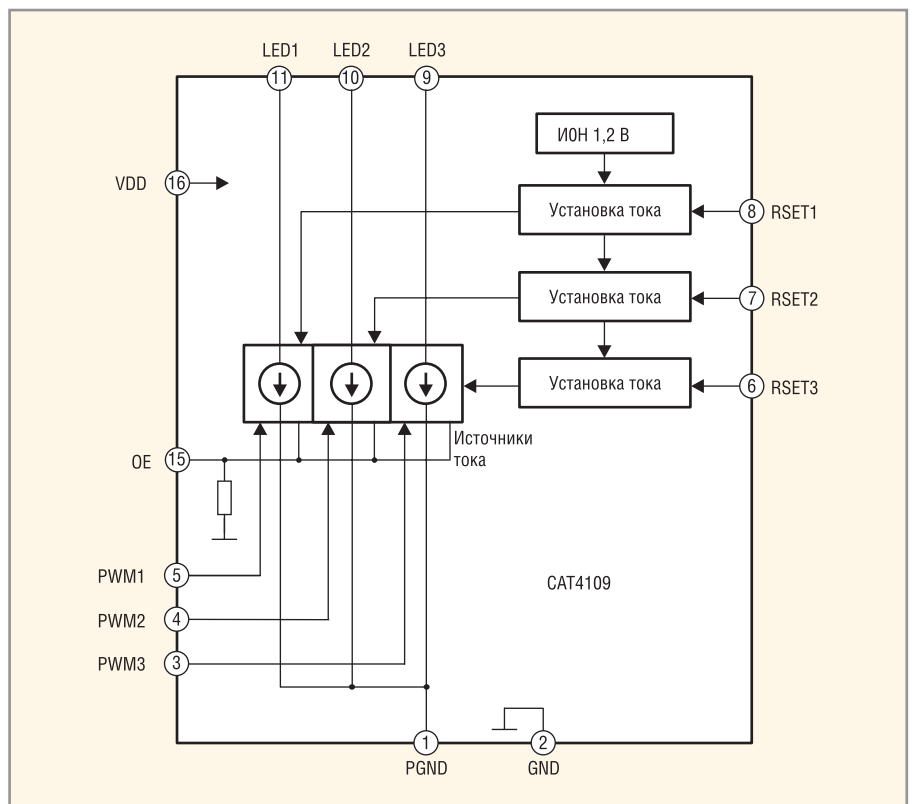


Рис. 2. Функциональная схема микросхемы CAT4109

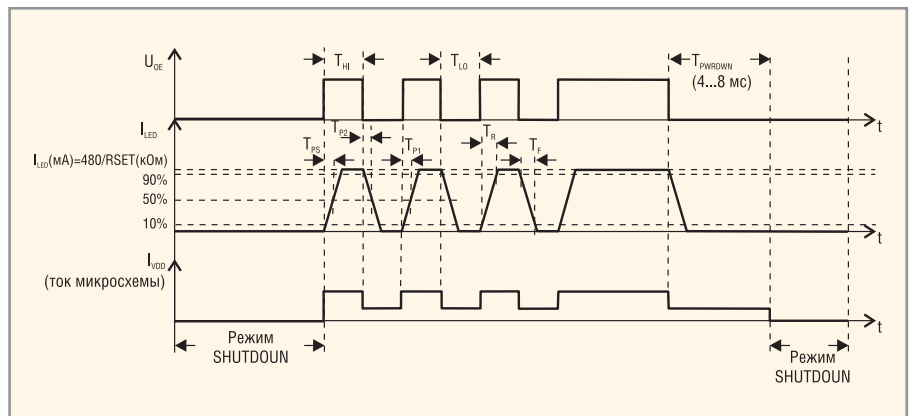


Рис. 3. Временные диаграммы работы микросхемы CAT4109

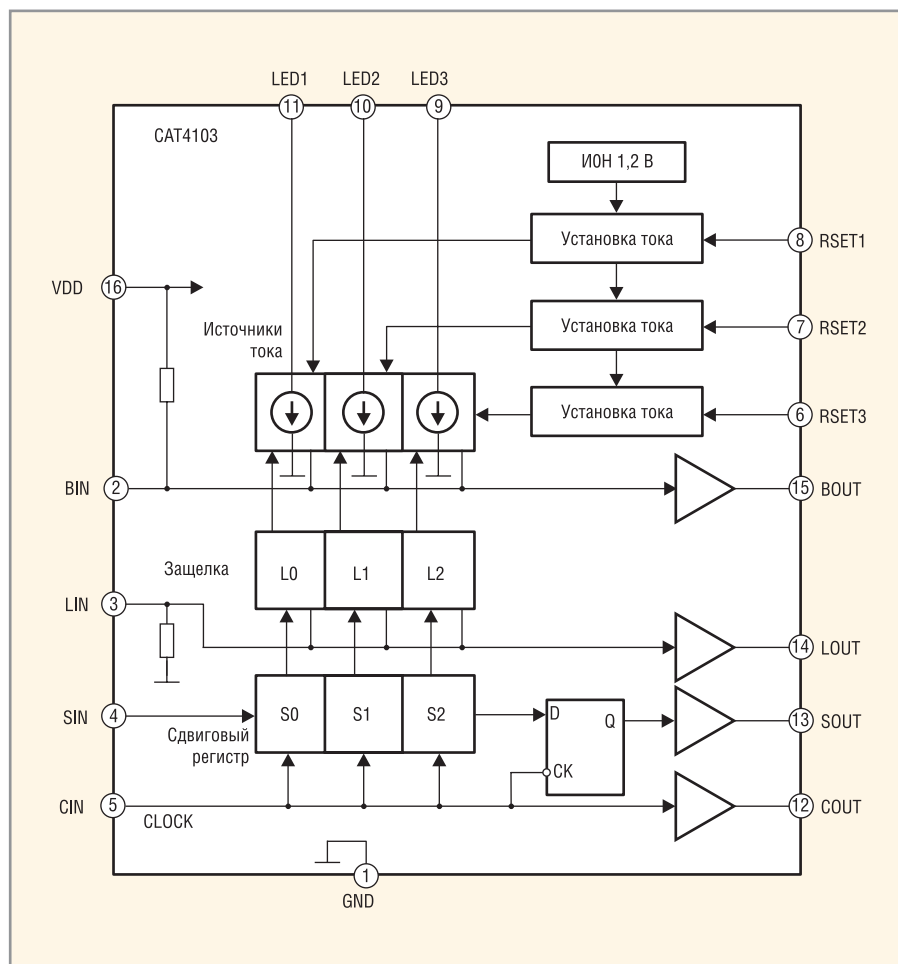


Рис. 4. Функциональная схема микросхемы CAT4103

Каналы управления светодиодами микросхемы CAT4103 аналогичны соответствующим каналам CAT4109, но у микросхемы CAT4103 есть одна важная особенность: сигналы ШИМ для управления яркостью светодиодов формируются в самой микросхеме из сигналов от контроллера. Для этого в микросхему введено трёхразрядное ОЗУ (см. рис. 4), которое состоит из

трёх триггеров-защёлок (трёхразрядного регистра-защёлки) и трёхразрядного регистра сдвига. Последний обеспечивает преобразование последовательного кода входного сигнала данных в параллельный, который запоминается в регистре-защёлке.

Для управления последующей микросхемой при каскадном включении используются четыре буферных уси-

лителя и триггер задержки (D-триггер). Разберёмся в выводах связи CAT4103 с контроллером и следующей микросхемой при каскадном включении:

- вывод 4 (SIN) – вход данных (последовательный);
 - вывод 5 (CIN) – динамический вход тактовых импульсов, частота которых может достигать 25 МГц; срабатывает по фронту тактового импульса (переходу с лог. 0 на лог. 1). При этом логический уровень со входа SIN записывается в сдвиговый регистр;
 - вывод 3 (LIN) – вход команды запоминания данных. При переходе сигнала с лог. 0 на лог. 1 на этом входе происходит запись состояний триггеров сдвигового регистра в регистр-защёлку, где они сохраняются до прихода положительного фронта следующего импульса на вход LIN;
 - выводы 13 (SOUT), 12 (COUT) и 14 (LOUT) – выходы соответствующих интерфейсных сигналов на следующую микросхему CAT4103 при каскадном включении. При этом сигнал на выходе SOUT изменяется (тактируется) срезами тактового импульса (переходом сигнала с лог. 1 на лог. 0);
 - вывод 2 (BIN) – вход сигнала гашения; используется для гашения всех светодиодов, но не влияет на содержание регистра-защёлки. Гашение светодиодов осуществляется уровнем лог. 1 на входе BIN;
 - вывод 15 (BOUT) – выход сигнала гашения на следующую микросхему CAT4103 при каскадном включении.
- Зависимости токов цепочек светодиодов от сопротивлений резисторов установки микросхемы CAT4103 аналогичны рассмотренным выше для микросхемы CAT4109. Микросхема CAT4103 имеет те же схемы защиты, что и CAT4109.

МИКРОСХЕМА STP24DP05 ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ STMICROELECTRONICS

Микросхема STP24DP05 – это один из новейших представителей семейства драйверов Power Logic (STP), разработанных компанией STMicroelectronics для управления информационными дисплеями (экранами и табло) на дискретных светодиодах. На момент написания статьи были доступны девять микросхем этого семейства

Таблица 3. Назначение выводов микросхемы CAT4103

№ вывода	Обозначение	Назначение
1	GND	Корпус
2	BIN	Вход сигнала гашения. Активный уровень – высокий
3	LIN	Вход команды «защёлкивания» (запоминания) данных
4	SIN	Вход данных (последовательный)
5	CIN	Вход тактовых импульсов (частота до 25 МГц)
6	RSET3	Вывод установки тока LED3
7	RSET2	Вывод установки тока LED2
8	RSET1	Вывод установки тока LED1
9	LED3	Вывод подключения катода LED3
10	LED2	Вывод подключения катода LED2
11	LED1	Вывод подключения катода LED1
12	COUT	Вывод тактовых импульсов (частота до 25 МГц)
13	SOUT	Вывод данных (последовательный)
14	LOUT	Вывод команды «защёлкивания» (запоминания) данных
15	BOUT	Вывод сигнала гашения
16	VDD	Вход напряжения питания

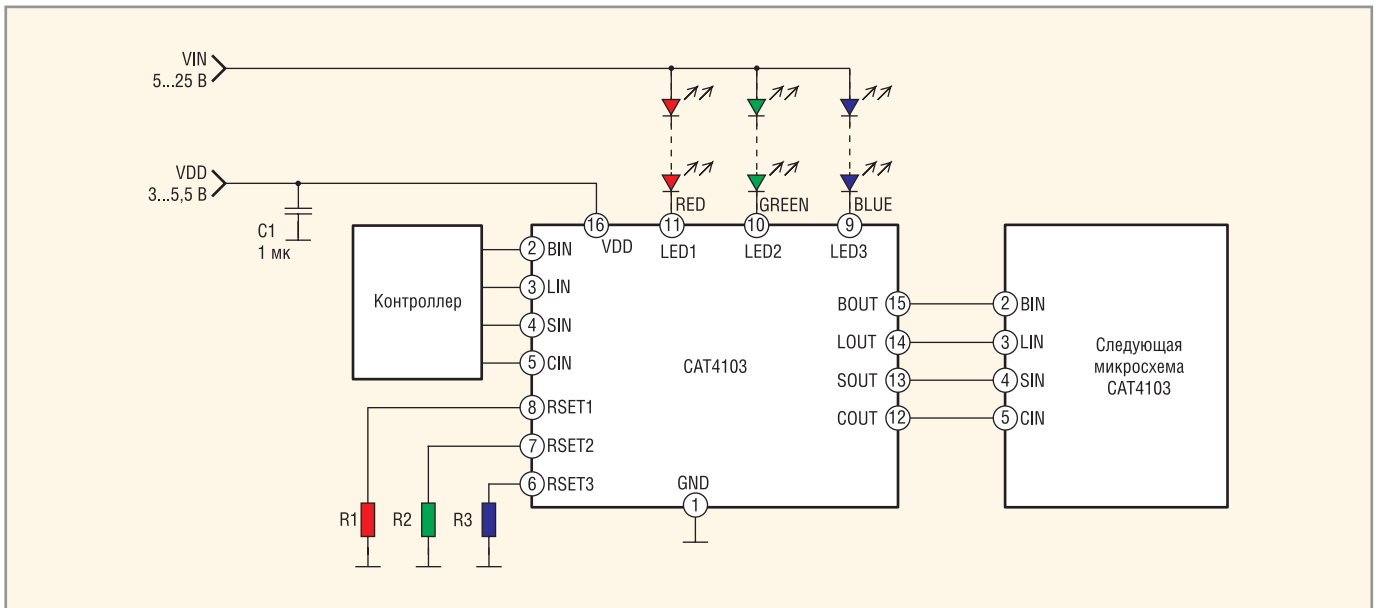


Рис. 5. Схема включения микросхемы CAT4103

[2], основные особенности и параметры которых сведены в таблицу 4.

Из всего семейства Power Logic только микросхема STP24DP05 разработана специально для управления цветными информационными дисплеями на дискретных светодиодах красного (R), зелёного (G) и синего (B) свечения.

Основой всех драйверов этого семейства являются сдвиговый регистр и регистр-защёлка, так же как у рассмотренной выше микросхемы CAT4109. Микросхема STP24DP05 имеет три сдвиговых регистра и три регистра-защёлки, по одному на светодиоды каждого цвета (R, G и B). Перед тем как мы рассмотрим микросхему подробнее, остановимся на особенностях других микросхем семейства Power Logic. На

выходах микросхем STPIC6C595 и STPIC6D595 для управления светодиодами используются транзисторные ключи, а на выходах остальных микросхем для стабилизации тока светодиодов – мощные регулируемые источники тока. Суффикс «CPS» в названии микросхемы, например STP16CPS05, говорит о возможности автоматического перехода микросхемы в энергосберегающий режим, а микросхемы с суффиксом DP отличаются поддержкой диагностики выходов на обрыв и короткое замыкание. Все микросхемы семейства рассчитаны на работу в диапазоне температур от -40 до $+125^{\circ}\text{C}$.

Микросхема STP24DP05 имеет 24 канала управления светодиодами, которые разделены на три интерфейс-

ных порта (R, G, B) по восемь каналов в каждом. Таким образом, микросхема STP24DP05 содержит три восьми-канальных монохромных драйвера, встроенных в малогабаритный корпус TQFP48 размером 7×7 мм, дополненный схемами, которые обеспечивают диагностику обрыва нагрузок и замыкания выходов с корпусом и питанием. Сигнализация об обнаружении аварий через последовательный интерфейс поступает в управляющий контроллер в виде специальных кодов ошибок.

Одна микросхема STP24DP05 управляет восемью светодиодными RGB-триадами или группами триад цветного светодиодного экрана. Напряжение питания микросхемы находится в пре-





МИЛАНДР

www.milandr.ru

ЗАО “ПКК Миландр”

- Производитель микросхем двойного и специального назначения (ВП, ОТК, бескорпусное исполнение) в том числе:
 - поставка отладочных средств (программные и аппаратные)
 - постоянная техническая поддержка (консультация специалистов, обучение, сотрудничество в разработке)
- Разработка интегральных микросхем
- Сертификация и испытание микросхем (иностранного производства)

Поставка импортных и отечественных электронных компонентов

Адрес: Зеленоград проезд 4806, д.6
www.milandr.ru
info@milandr.ru

телефон/факс:
 +7(495)601-95-45
 +7(495)981-54-33
 +7(495)739-02-81

Реклама

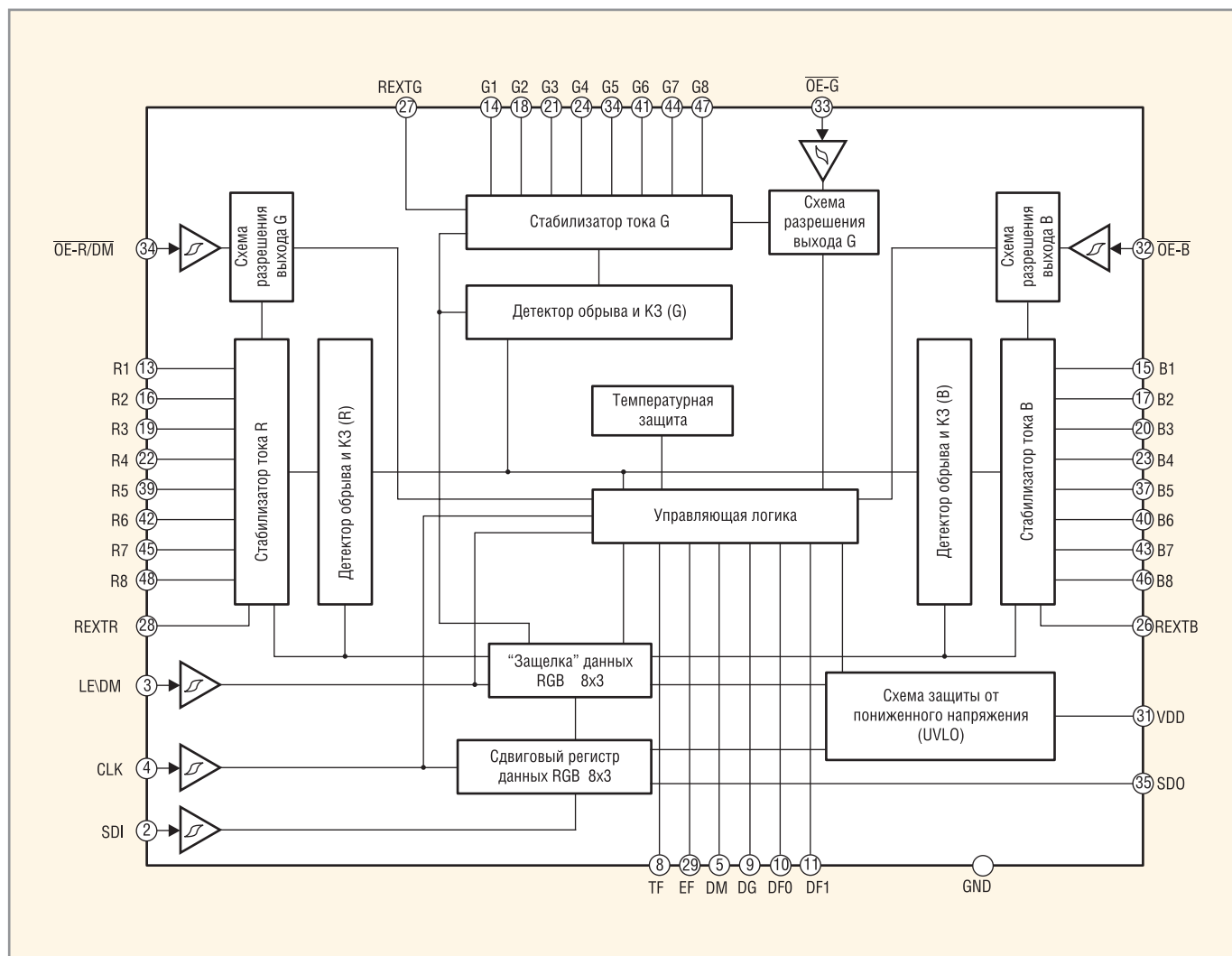


Рис. 6. Функциональная схема микросхемы STP24DP05

делах 3...5,5 В, а напряжение питания светодиодных цепочек может выбираться до 20 В, в зависимости от количества светодиодов в цепочках. Выходной ток каждой из цепочек светодиодов составляет 5...80 мА.

Функциональная схема микросхемы STP24DP05 изображена на рисунке 6, каскадная схема включения N штук микросхем этого типа – на рисунке 7, а назначение выводов приведено в таблице 5.

Основной схемы управления восьмиканальными интерфейсами красного

(R), зелёного (G) и синего (B) микросхемы STP24DP05 является сдвиговый регистр 8 × 3 (восемь разрядов по 3 бит) данных RGB-структуры, который преобразует последовательный код входного сигнала на входе SDI в три 8-разрядных параллельных кода. Эти коды запоминаются в 24-разрядном (8 × 3) регистре-защелке данных RGB. Каждый из выходных каналов микросхемы, которых всего 24 (по восемь для каждого цвета), содержит в качестве выходного каскада стабилизатор

(источник) тока. Кроме того, для каждого цвета имеется схема разрешения и детектор обрывов и коротких замыканий выходных линий. Общими для всех каналов являются управляющая логика, схемы температурной защиты и защиты от пониженного напряжения питания. На входах 2, 3, 4, 32, 33 и 34 установлены буферные каскады. Рассмотрим некоторые особенности работы микросхемы STP24DP05. Тактовая частота работы этой микросхемы может достигать 25 МГц. Уставка

Таблица 4. Особенности и параметры микросхем семейства Power Logic от STMicroelectronics

Тип микросхемы	Напряжение питания, В	Число каналов	I _{OUT} , мА	V _{OUT} (max), В	F _{СВНЧ} , МГц	Выходные каскады	Диагностика выходов	Корпус
STP04CM05	3,3...5,5	4	80...400	20	30	Регулируемые источники тока	Нет	HTSSOP16, PDIP14, S014
STP08CP05	3,3...5,5	8	5...100	20	30	Регулируемые источники тока	Нет	HTSSOP16, PDIP16, S016, TSSOP16
STP08DP05	3...5,5	8	5...100	20	30	Регулируемые источники тока	Есть	HTSSOP16, PDIP16, S016, TSSOP16
STP16CP05	3...5,5	16	5...100	20	30	Регулируемые источники тока	Нет	HTSSOP24, QSOP24, S024, TSSOP24
STP16CPS05	3...5,5	16	5...100	20	30	Регулируемые источники тока	Нет	HTSSOP24, QSOP24, S024, TSSOP24
STP16DP05	3...5,5	16	5...100	20	30	Регулируемые источники тока	Есть	HTSSOP24, QSOP24, S024, TSSOP24
STP24DP05	3...5,5	24	5...80	20	25	Регулируемые источники тока	Есть	TQFP48 (7x7x1,0)
STPIC6C595	4,5...5,5	8	100	33	25	Ключи	Нет	S016, TSSOP16
STPIC6D595	4,5...5,5	8	100	20	25	Ключи	Нет	PDIP16, 16/SO, 16/TSSOP

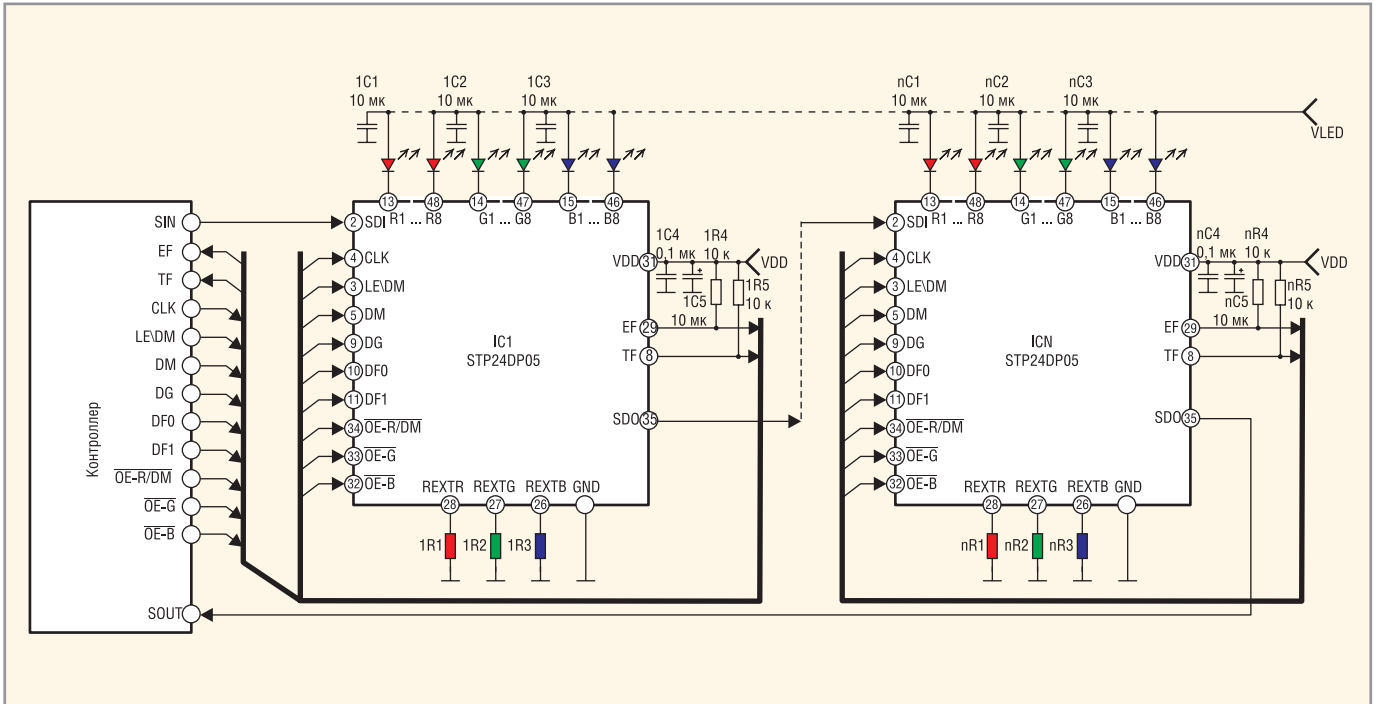


Рис. 7. Каскадная схема включения микросхем STP24DP05

тока светодиодов задаётся отдельно для каждого цвета с помощью трёх внешних резисторов, которые подключаются к выводам 26 (B), 27 (G) и 28 (R). Зависимость токов светодиодов, а также порога срабатывания детектора обрыва выходных линий (линий светодиодов) от сопротивления соответствующего резистора уставки приведена в таблице 6.

Когда на входе LE\DM (вывод 3) высокий уровень, регистр-защёлка захватывает данные, которые проходят через регистр сдвига, и удерживает (хранит) их, когда на этом входе низкий потенциал. Низкие уровни на входах OE-R\DM (34), OE-G (33) и OE-B (32) разрешают прохождение данных с регистра-защёлки на выходные каскады (стабилизаторы тока) микросхемы. Высокий уровень на любом из этих входов запирает выходные каскады.

Как известно, наибольшее потребление тока от источника питания любой переключающей схемой происходит при переходных процессах. Для облегчения токового и теплового режима микросхемы при одновременном включении всех светодиодов, а также для уменьшения уровня пульсаций предусмотрена постепенная (поканальная) задержка (Gradual delay) включения светодиодов, которая незаметна для глаз. Она осуществляется подачей на вход DG уровня логического нуля. При этом отпирание выходных каскадов каналов R2, G2, B2 происхо-

дит с задержкой 30 нс по отношению к R1, G1 и B1. Задержка включения R3, G3, B3 будет составлять уже 60 нс (далее см. таблицу 7).

Входной и выходной сигналы данных микросхемы STP24DP05 (на выводах 2 и 35) содержат поток R, G и B сигналов, чередующихся с тактовой частотой; последовательность чередования задаётся логическими уровнями на входах DF0 и DF1 (см. таблицу 8).

Переключение из нормального (рабочего) режима в режим определения ошибки может осуществляться

подачей низкого потенциала на вход DM (5) или сигнала длительностью более 1 мкс на вход OE-R\DM (34), после чего в течение 24 тактов на выходную шину данных поступает код ошибки.

Интерфейс микросхемы STP24DP05 имеет два флага: TF (вывод 29) – флаг превышения температуры и EF (8) – флаг ошибки. Оба этих выхода имеют открытый сток, поэтому между каждым из выходов и источником питания подключается подтягивающий резистор 10 кОм. При наступлении аварий-

Таблица 5. Назначение выводов микросхемы STP24DP05

№ вывода	Обозначение	Назначение
1, 7, 12, 25, 30, 36	GND	Корпус
2	SDI	Последовательный вход данных
35	SDO	Последовательный выход данных
4	CLK	Вход тактовых импульсов
3	LEDM	Вход захвата и удержания данных
5	DM	Вход включения режима определения ошибки
13, 16, 19, 22, 39, 42, 45, 48	R1 - R8	Выходы восьмиканального драйвера красных светодиодов (R)
8	TF	Флаг превышения температуры (выход с открытым стоком)
29	EF	Флаг ошибки (выход с открытым стоком)
9	DG	Вход постепенной задержки (Gradual delay)
15, 17, 20, 23, 37, 40, 43, 46	B1 - B8	Выходы восьмиканального драйвера синих светодиодов (B)
32	OE-B	Вход разрешения для выходов B1 - B8 (активный уровень - низкий)
33	OE-G	Вход разрешения для выходов G1 - G8 (активный уровень - низкий)
34	OE-RDM	Вход разрешения для выходов R1 - R8 (активный уровень - низкий)
28	REXTR	Вход установки токов для выходов R1 - R8
27	REXTG	Вход установки токов для выходов G1 - G8
26	REXTB	Вход установки токов для выходов B1 - B8
14, 18, 21, 24, 38, 41, 44, 47	G1 - G8	Выходы восьмиканального драйвера зелёных светодиодов (G)
10	DF0	Входы, определяющие последовательность сигналов R, G и B в коде входного сигнала (см. таблицу 8)
11	DF1	
31	VDD	Вход напряжения питания

Таблица 6. Зависимость токов светодиодов и порога срабатывания детектора обрыва выходных линий от сопротивления соответствующего резистора установки

Заданный ток светодиодов, мА	REXT, Ом	Порог срабатывания детектора обрыва, мА
5	3920	1,28
10	1960	2,45
20	980	7,4
50	386	17
80	241	27

Таблица 7. Задержка включения светодиодов по перепадам лог. 0 - лог. 1 на входах разрешения в зависимости от логического уровня на входе постепенной задержки (Gradual delay)

Логический уровень на входе постепенной задержки (Gradual delay)	Задержка срабатывания (нс) по перепадам лог. 0 - лог. 1 на входах OExx							
	R1, G1, B1	R2, G2, B2	R3, G3, B3	R4, G4, B4	R5, G5, B5	R6, G6, B6	R7, G7, B7	R8, G8, B8
0	0	30	60	90	120	150	180	200
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 8. Установка последовательности сигналов R, G и B в коде входного и выходного сигналов

Последовательность	Входы	
	DF0	DF1
BGR	1	1
BGR	0	1
RGB	1	0
GBR	0	0

Таблица 9. Основные параметры микросхемы LP55281

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	3...5,5
Количество линий управления	12
Включение светодиодов	Параллельное
Отклонение значения выходного тока соседних каналов, %	5
Максимальное выходное напряжение, В	5,3
Тип повышающего преобразователя	Индуктивный
Выходное напряжение преобразователя	Регулируемое
КПД преобразователя, %	88
Ток потребления, мА	1
Рабочая частота преобразователя, МГц	2
Способ регулирования	ШИМ
Максимальный ток светодиодов (общий), мА	400
Диапазон рабочих температур, °C	-30...85

ной ситуации внутренний ключ микросхемы замыкает соответствующий вывод (29, 8) на корпус. Полученный таким образом уровень лог. 0 сигнализирует внешнему контроллеру об аварии. Если вместо подтягивающих резисторов выходы 29 и 8 нагрузить на светодиоды (через ограничивающие резисторы), то мы получим визуальную индикацию аварийной ситуации.

Более подробную информацию о микросхеме STP24DP05 производства STMicroelectronics можно найти на интернет-странице фирмы [2].

МИКРОСХЕМА LP55281 ОТ NATIONAL SEMICONDUCTOR – СЧЕТВЕРЁННЫЙ ДРАЙВЕР RGB-СВЕТОДИОДОВ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО ШИНЕ I²C

Микросхема LP55281 специально рассчитана на реализацию подсветки малогабаритных жидкокристаллических дисплеев с помощью светодиодов RGB. ИС обеспечивает отдельную регулировку яркости свечения и цветового оттенка каждого из четырёх RGB-светодиодов от внешнего контроллера по стандартному последовательному интерфейсу I²C или SPI. Следует отметить, что, несмотря на повышенную стоимость, использование для подсветки RGB-светодиодов вместо белых (полноцветных) светодиодов обеспечивает более качественное воспроизведение цветовых оттенков на ЖК-дисплеях. Основное применение микросхемы LP55281 – это сотовые телефоны, коммуникаторы и MP3-плееры.

Микросхема LP55281 содержит четыре канала ШИМ для управления яркостью и цветом свечения RGB-светодиодов, звуковой канал синхронизации для фонового светодиода, встроенный высокоэффективный повышающий преобразователь напряжения и интерфейсы I²C и SPI. Кроме того, LP55281 обеспечивает тестирование обрыва светодиодов через последовательный интерфейс. Основные параметры микросхемы приведены в таблице 9.

Микросхема изготавливается в миниатюрном корпусе Micro SMD размером 3 × 3 × 0,6 мм и Micro SMDxt размером 3 × 3 × 0,65 мм с 36 шаровидными (каплевидными) выводами с шагом 0,5 мм. Расположение выводов микросхемы LP55281 показано на рисунке 8, а назначение выводов приведено в таблице 10. Функциональная схема и схе-

ма включения микросхемы LP55281 приведены на рисунке 9.

Микросхема имеет классический повышающий (boost) преобразователь со встроенным выходным ключом на полевом транзисторе, который может работать на частоте до 2 МГц. Для этой частоты преобразования внешний дроссель LBOOST должен иметь индуктивность 4,7 мкГн, а для частоты преобразования 1 МГц – приблизительно 10 мкГн. В качестве импульсного выпрямителя следует использовать внешний диод D1 с малым падением напряжения – диод Шоттки с пиковым током не менее 1 А. Выходное напряжение преобразователя устанавливается по умолчанию 5 В, но его можно изменять программно по шине управления. Последовательность изменения выходного напряжения: 4, 4,25, 4,4 В и далее с шагом 0,15 В до 5,3 В.

В обвязке микросхемы производитель рекомендует использовать высококачественные SMD-компоненты: резисторы с допуском не более 1%, дроссель экранированный с малым омическим сопротивлением (до 0,3 Ом), керамические конденсаторы с рабочим напряжением 10 В и диэлектриком типа X7R или X5R. Конденсаторы большой ёмкости желательно использовать танталовые (с малым ESR).

Управление микросхемой, а следовательно, и светодиодами осуществляет внешний контроллер. Не обязательно, чтобы это управление осуществлялось по всем семи проводникам, как это показано на рисунке 9. Так, например, вход выбора интерфейса IF_SEL (вывод 2B) может быть подключен напрямую на корпус или на плюс источника питания. В первом случае включается интерфейс шины I²C, а во втором – SPI. В любом варианте микросхема LP55281 используется как ведомое устройство. Как известно, последовательный интерфейс шины I²C является двухпроводным и состоит из линии тактовых импульсов SCL и линии данных SDA, а интерфейс шины SPI – четырёхпроводный и содержит следующие линии: SS – вход выбора ведомой микросхемы, SCK – вход тактовых импульсов, SI – вход данных, SO – выход данных.

При использовании в устройстве шины I²C останется не подключенным выход SO (вывод 4B). При этом вход SI/A0 (вывод 4C) можно подключать к корпусу, выбрав этим адрес микросхемы 4Ch, а можно к плюсу источника

питания, что обеспечивает выбор адреса 4Dh.

Выходные каскады представляют собой регулируемые ШИМ-генераторы (источники) тока, на выходах которых, кроме светодиодов, подключен мультиплексор. Последний в моменты запираания выходных каскадов обеспечивает поочерёдную коммутацию на вход встроенного АЦП уровней сигналов с выходов микросхемы. При нормальной работе эти уровни высокие, а в случае обрыва одного из светодиодов или пробое выходного каскада напряжение на выходе мультиплексора понижается, что сигнализирует о неисправности. Оцифрованное напряжение с выхода мультиплексора через управляющую шину (I²C или SPI) поступает на внешний контроллер.

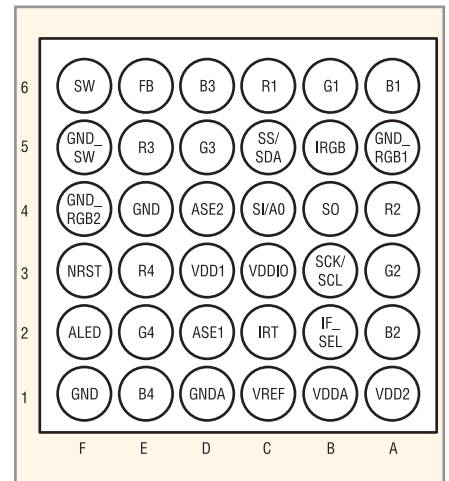


Рис. 8. Расположение выводов микросхемы LP55281

Читателю, вероятно, встречались соевые телефоны, MP3-проигрыватели или другие устройства с «цветомузы-

Таблица 10. Назначение выводов микросхемы LP55281

№ вывода	Обозначение	Назначение
6F	SW	Выход ключа повышающего преобразователя на дроссель
6E	FB	Вход обратной связи повышающего преобразователя
6D	B3	Выход на синий (B) светодиод 3
6C	R1	Выход на красный (R) светодиод 1
6B	G1	Выход на зелёный (G) светодиод 1
6A	B1	Выход на синий (B) светодиод 1
5F	GND_SW	Корпус ключа повышающего преобразователя
5E	R3	Выход на красный (R) светодиод 3
5D	G3	Выход на зелёный (G) светодиод 3
5C	SS/SDA	Выбор ведомой MC (SPI) или линия (вход/выход) данных шины I ² C
5B	IRGB	Вход от резистора установки тока смещения RGB-драйверов
5A	GND_RGB1	Корпус цепи питания RGB-светодиодов 1 и 2
4F	GND_RGB2	Корпус цепи питания RGB-светодиодов 3 и 4
4E	GND	Корпус
4D	ASE2	Вход сигнала звуковой синхронизации 2
4C	SI/A0	Последовательный вход шины SPI или вход выбора адреса по шине I ² C
4B	SO	Выход последовательного кода данных шины SPI
4A	R2	Выход на красный (R) светодиод 2
3F	NRST	Вход асинхронного сброса (активный уровень – низкий)
3E	R4	Выход на красный (R) светодиод 4
3D	VDD1	Вход напряжения питания
3C	VDDIO	Вход напряжения питания для входных и выходных буферных каскадов
3B	SCK/SCL	Вход тактовых импульсов для интерфейсов SPI и I ² C
3A	G2	Выход на зелёный (G) светодиод 2
2F	ALED	Выход на светодиод звуковой синхронизации
2E	G4	Выход на зелёный (G) светодиод 4
2D	ASE1	Вход сигнала звуковой синхронизации 1
2C	IRT	Резистор, задающий частоту генератора
2B	IF_SEL	Вход выбора интерфейса (лог. 1 – SPI, лог. 0 – I ² C)
2A	B2	Выход на синий (B) светодиод 2
1F	GND	Корпус
1E	B4	Выход на синий (B) светодиод 4
1D	GNDA	Корпус аналоговой части
1C	VREF	Выход опорного напряжения
1B	VDDA	Выход внутреннего источника питания аналоговой части 2,8 В
1A	VDD2	Вход напряжения питания

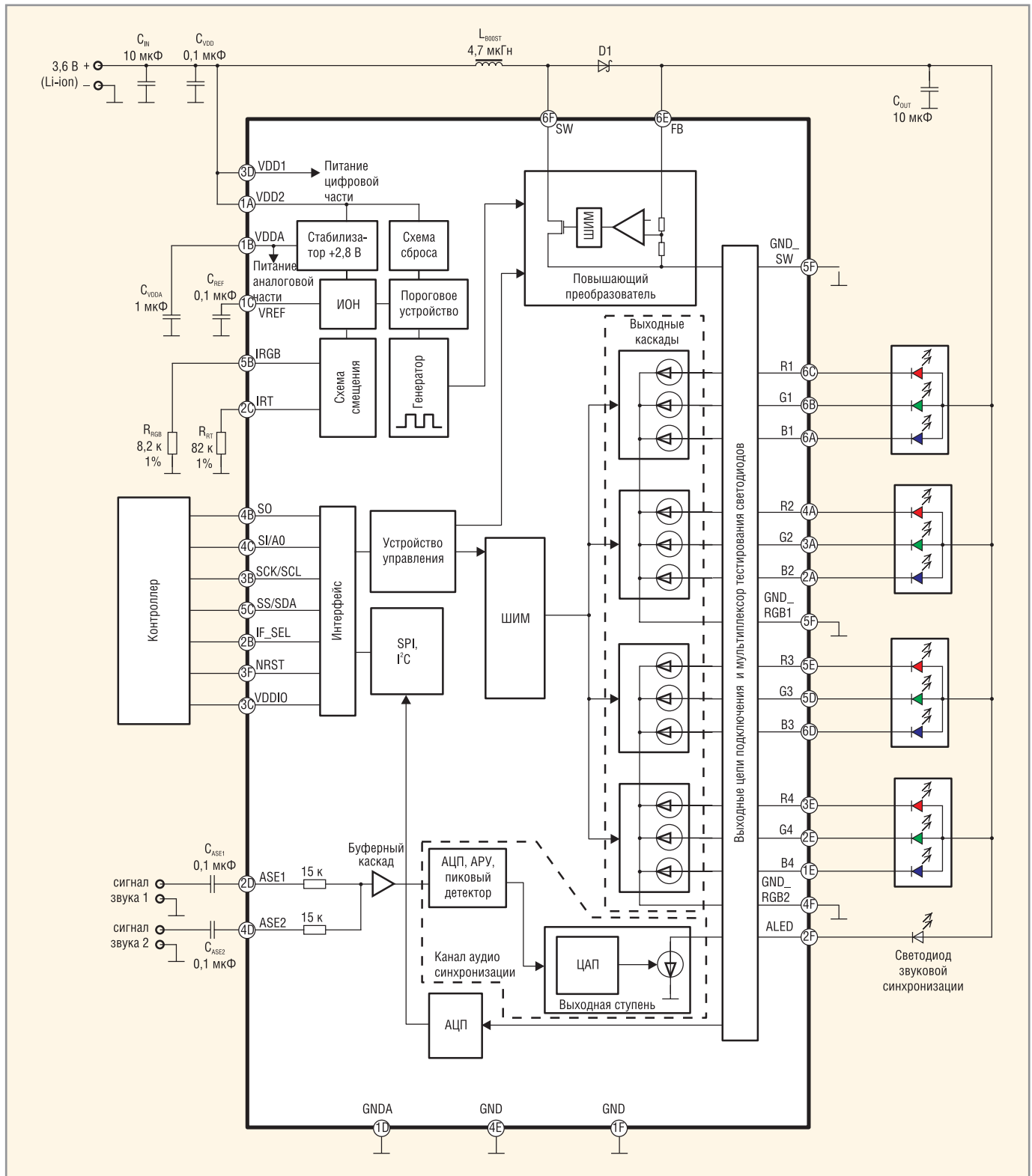


Рис. 9. Функциональная схема и схема включения микросхемы LP55281

кой», экраны которых вспыхивают в такт с вызывным сигналом или другой проигрываемой мелодией. Для реализации этой функции в микросхему LP55281 встроен канал звуковой синхронизации. Этот канал имеет два входа (выводы 2D и 4D микросхемы), на которые подаются звуковые стереосигналы размахом до 1,6 В. Сигналы затем смешиваются на входе буферного каскада, оцифровываются, проходят

схему АРУ и цифровой пиковый детектор. Затем происходит обратное преобразование цифрового сигнала в аналоговый, который управляет выходным каскадом (источником тока) и, значит, яркостью свечения фонового светодиода.

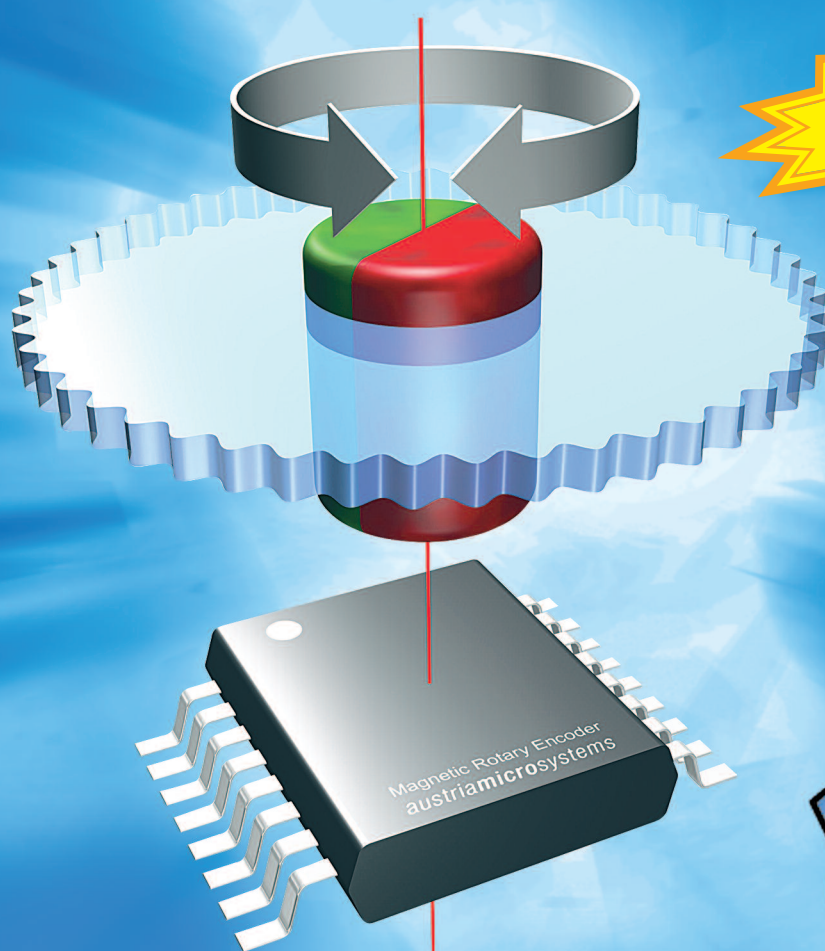
Более подробную информацию о микросхеме LP55281 можно найти на интернет-странице фирмы-производителя [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Безверхний И. Особенности схемотехники драйверов сверхярких светодиодов на примере продукции компании MPS. Современная Электроника, № 4, 2009.
2. STMicroelectronics. STP24DP05. 24-bit constant current LED sink driver with output error detection. First release, 2008. www.st.com.
3. National Semiconductor. LP55281. Quad RGB Driver. General Description. June 2007. www.national.com.



ПРОГРАММИРУЕМЫЕ МАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ УГЛА ПОВОРОТА



150°C

 **austriamicrosystems**

ХАРАКТЕРИСТИКИ

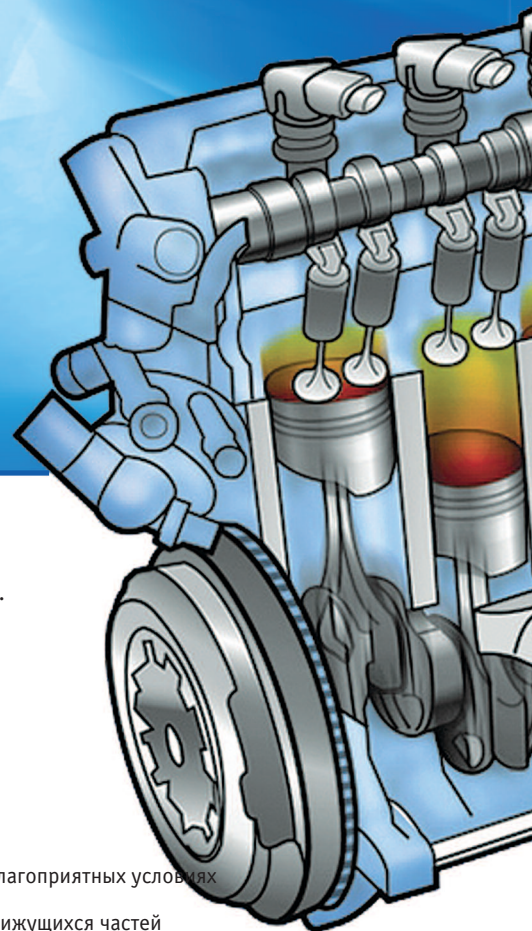
- разрешение 8, 10 и 12-бит
- точность до 0,0875° (4096 позиций)
- интерфейсы
 - синхронный последовательный интерфейс
 - широтно-импульсная модуляция
 - инкрементный
 - аналоговый
 - управляющие сигналы для бесколлекторного двигателя постоянного тока
- программирование «нулевой позиции»
- высокая скорость (до 30 000 об/мин)
- функция «кнопки»
- магнитная чувствительность 20...80 мТ
- температурный диапазон работы от -40°C до +150°C
- маленький корпус SSOP 16 (5,3 мм × 6,2 мм)
- ультранизкий ток потребления 30 мкА

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

- поворотные выключатели
- контроль позиции АС/DC-моторов
- офисная техника: принтеры, сканеры и др.
- контроль положения клапанов, вентилях
- замена оптических энкодеров
- сенсор угла поворота руля
- датчик позиции педали «газа»
- робототехника
- автоматика

ПРЕИМУЩЕСТВА

- энкодер на одном кристалле
- не требуется калибровка
- идеально подходит для применения в неблагоприятных условиях окружающей среды
- высокая надёжность за счет отсутствия движущихся частей
- устойчивость к разьёстировке и изменению температуры окружающей среды



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ AUSTRIAMICROSYSTEMS

PROSOFT®

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
Тел.: (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

Источники питания для медицинского оборудования: тенденции, проблемы и методы проектирования

Печатается с разрешения фирмы XP Power

Питер Блит (Великобритания)
(Перевод с англ. В. Жданкина)

В статье специалиста компании XP Power представлены технологии, применение которых приводит к улучшению объёмно-массовых показателей и повышению эффективности источников питания для медицинской аппаратуры.

Габариты медицинской электронной аппаратуры уменьшаются с каждым годом. Конечно, так можно сказать обо всём электронном оборудовании, но в медицине требования к уменьшению габаритов и веса являются одними из самых высоких. Это объясняется не только недостатком места в операционных и палатах, но и использованием всё большего количества медицинской аппаратуры в домашних условиях, во

врачебных кабинетах, а также в автомобилях и на борту самолётов.

За последние 10 лет площадь основания типичного 100-Вт ИП с конвекционным отводом тепла сократилась со 178×102 мм в 1998 г. до 1026×51 мм, т.е. на 70%. К подобному уменьшению габаритов следует относиться с осторожностью. Миниатюризация корпусов предполагает уменьшение площади рассеивания тепловой мощности, для снижения которой требуется повышать значение КПД. В данной статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при разработке ИП, и кратко представлены наиболее эффективные методы, которые в настоящее время используются для проектирования систем электропитания в медицинском оборудовании.

Посредством измерений оцениваются максимальные потери мощности, которую ИП для установки на шасси или в открытом исполнении могут рассеять в виде тепла в модуле с определённой площадью основания; результаты приведены на рисунке 1. Показатели основаны на использовании свободного конвекционного отвода тепла и на сохранении требований к безопасности, установленных соответствующими стандартами. Учитывается также обеспечение приемлемого срока службы и допустимых показателей надёжности.

Отметим, что принудительное охлаждение с помощью вентилятора может значительно улучшить показатели мощности, но за счёт снижения надёжности системы, поскольку электромеханические узлы имеют значительно меньшие показатели надёжности по сравнению с другими компонентами системы. Кроме того, вентиляторы уве-

личивают габариты системы и являются источником повышенного акустического шума, весьма нежелательного в медицинских применениях.

На рисунке 2 показана взаимосвязь потерь мощности и КПД. Например, при стандартной (в промышленности) площади основания источника питания 3×5 дюймов ($76,2 \times 127$ мм) при конвекционном отводе тепла можно эффективно отвести около 18 Вт рассеиваемой в модуле тепловой мощности. Экстраполируя характеристическую кривую мощности потерь 20 Вт (см. рис. 2), мы видим, что 120-Вт ИП должен иметь значение КПД не менее 85% при конвекционном отводе тепла, и этого будет достаточно.

График, представленный на рисунке 2, также демонстрирует существенное влияние, которое небольшое увеличение КПД может оказывать на доступную мощность ИП для данной рассеиваемой мощности. Взяв кривую потерь мощности 20 Вт, определяем, что увеличение КПД с 88% до 93% позволило бы ИП обеспечивать мощность свыше 250 Вт, что лучше, чем значение около 150 Вт при указанной площади основания ИП.

Для разработчика ИП габариты и КПД обычно являются наиболее важными характеристиками. Увеличение частоты преобразования означает, что могут применяться компоненты с меньшими размерами, особенно конденсаторы и индуктивности. Однако потери на переключение возрастают, и источник питания, который мог бы иметь значение КПД 92% при частоте переключения 30 кГц, обеспечит КПД лишь 83% при частоте 200 кГц.

Надёжность всегда имеет первостепенное значение в медицинских применениях, поэтому обеспечение устойчивого и безопасного функционирования системы питания в пределах её максимальных параметров всегда желательно. В конечном счёте стоимость является определяющим фактором пригодности источника питания для данного применения.

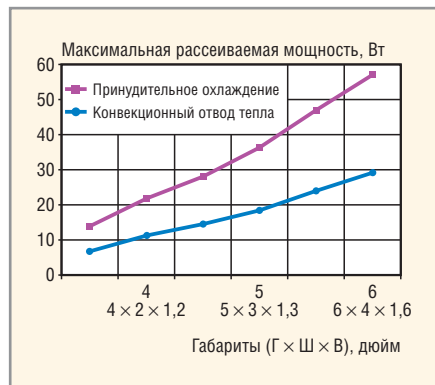


Рис. 1. Зависимость максимальной безопасной рассеиваемой в модуле мощности от габаритов для ИП, предназначенных для медицинского оборудования

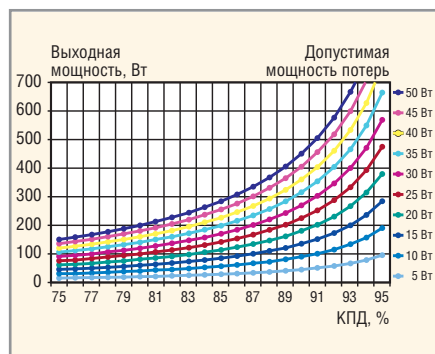


Рис. 2. Зависимость выходной мощности от минимального значения КПД (при обеспечении соответствия требованиям стандартов безопасности)

ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Существенное уменьшение объёма систем питания за последнее десятилетие было достигнуто совокупностью небольших улучшений как в методах конструирования, так и в технологиях элементной базы. Рассмотрим основные методы проектирования источников питания, которые применяются в настоящее время.

Двухзвенная конструкция входного фильтра на основе сердечников с высоким значением магнитной проницаемости минимизирует размеры и обеспечивает подавление синфазных и дифференциальных составляющих помех. Вертикальная установка компонентов позволяет сэкономить площадь печатной платы и оптимизировать условия охлаждения благодаря лучшему распределению потока воздуха.

Во многих ИП экономически оправданным стало применение карбид-кремниевых (SiC) диодов в схеме корректора коэффициента мощности. Низкое значение обратного тока восстановления SiC-диода позволяет отказаться от применения демпфирующей цепи, что приводит к сокращению числа компонен-

тов, экономии площади и увеличению КПД минимум на 1%.

Топология каскада основного преобразователя в значительной степени влияет на КПД. Для каскадов основного преобразователя источников питания с выходными мощностями 100...200 Вт часто выбирается топология с резонансным переключением. Это способствует эффективному уменьшению коммутационных потерь, позволяя применить теплоотводы с меньшими габаритами и таким образом реализовать лучшие объёмно-массовые показатели и больший КПД.

В некоторых случаях керамические теплоотводы могут заменить металлические. Это приводит к снижению уровня помех, поскольку керамические теплоотводы не имеют ёмкостной связи с цепями стока силовых МОП-транзисторов. Упрощается также фильтрация помех. Дополнительным преимуществом керамических теплоотводов является возможность обеспечения меньших зазоров по сравнению с зазорами, которые необходимы для проводящих металлических радиаторов, чем достигается дополнительное сокращение площади.

Снижение стоимости силовых МОП-транзисторов означает, что они

становятся более распространёнными в каскаде основного выпрямителя источников питания, чем диоды. В этой части схемы возможно увеличение КПД более чем на 40%. Например, диод с допустимым током 20 А и прямым падением напряжения 0,5 В рассеивает 10 Вт, тогда как МОП-транзистор с сопротивлением открытого канала 14 мОм при температуре +100°C рассеивает всего лишь 5,6 Вт. Кроме того, могут быть использованы керамические радиаторы.

Наконец, за последние годы значительно упростились схемы управления, в значительной степени за счёт совмещения функций полупроводниковых компонентов. В настоящее время доступны специальные ИС, которые включают в себя основной преобразователь напряжения и схему автоматической защиты. Благодаря ИС более высокой степени интеграции удобно реализуются сигналы комплексного мониторинга и управления.

ПРИМЕРЫ МИНИАТЮРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Источники питания новой серии ECS100 фирмы XP Power разработаны



Предназначены для работы в жёстких условиях

Основные области применения

- Транспорт (автомобильный и железнодорожный)
- Военно-промышленный комплекс
- Морской флот
- Промышленное машинное оборудование
- Информационные терминалы



Общие технические характеристики

- Модели ЖК-дисплеев с размерами по диагонали 10,4", 10,5", 12,1", 15"
- Яркость до 1600 кд/м²
- Контрастность до 950:1
- Эффективная система подсветки на люминесцентных лампах с холодным катодом
- Интерфейс LVDS
- Диапазон рабочих температур -31...+85°C (модель 100i.10X-XT)

Реклама

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ I-SFT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

PROSOFT[®]

Тел.: (495) 234-0636 • E-mail: info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Рис. 3. Источники питания серии ECS100 (XP Power) обеспечивают в нагрузке мощность 80 Вт, значение КПД 88% даёт возможность использовать конвекционный отвод тепла при данном значении мощности

с применением самых современных технологий, включая «зелёную» ИС для обеспечения в дежурном режиме потребляемой мощности менее 0,5 Вт.

Ряд источников питания серии ECS является следующим поколением популярной серии ЕСМ; начав с выпуска 100-Вт моделей, компания XP Power в 2009–2010 гг. предложит 40...60-ваттные модели. Модули серии ECS100 обеспечивают при конвекционном охлаждении выходную мощность на 33% больше, чем модули серии ЕСМ60, а при принудительном охлаждении с небольшой интенсивностью воздушного потока – на 66% больше. Серия включает одноканальные модели с выходными напряжениями 12, 15, 24, 28 и 48 В. Модули ECS100 предназначены для работы от однофазной сети переменного тока с диапазоном напряжения от 80 до 264 В (частота 47...400 Гц) и от сети постоянного тока с напряжением 120...370 В.

Площадь основания модулей серии ECS100 на 40% меньше размеров модулей ЕСМ60 при той же выходной мощности. Габариты модулей ECS100 со-

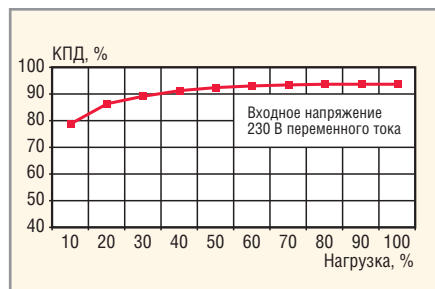


Рис. 5. Зависимость КПД от выходной мощности источника питания AC/DC CCM250 – при 100% нагрузке потеря в компонентах модуля нет и КПД не уменьшается



Рис. 4. Внешний вид высокоэффективного источника питания CCM250 фирмы XP Power

ставляют 50,8 × 101,6 × 30,5 мм при удельной мощности 10,4 Вт/дюйм³.

Высокоэффективные источники питания ECS100 соответствуют требованиям к безопасности стандартов IEC60950-1 и IEC60601-1, а по кондуктивным помехам и помехам излучения соответствуют требованиям EN55022 уровня В. Типовое значение КПД составляет 88%. Диапазон рабочих температур от –20 до +70°С с понижением выходной мощности при температурах выше +50°С. При принудительном охлаждении воздушным потоком обеспечивается мощность 100 Вт, а при конвекционном отводе тепла – 80 Вт. Стандартными являются функции защиты от перенапряжения, перегрузки по току и короткого замыкания. Модули обеспечивают защиту от поражения электрическим током по классу I или II.

На рисунке 3 показаны источники питания серии ECS100 (XP Power) – пример компактных, эффективных ИП, которые уже доступны для заказа; 250-Вт источники питания AC/DC серии CCM250 (см. рис. 4) характеризуются КПД до 95%, что позволяет значительно уменьшить тепловыделение в медицинских, промышленных и других системах.

Качественное улучшение удельной мощности и КПД достигнуто благодаря новым конструктивным решениям, использованным в серии CCM250. Максимальное значение КПД конкурирующих изделий не превышает 90% с преобразованием 10% мощности в отработанное тепло, которое необходимо рассеивать. Пятипроцентное повышение КПД, которое предлагает CCM250,

означает, что источник питания рассеивает вполтора меньше тепла, серьёзно сокращая или исключая потребность системы в теплоотводах или принудительном охлаждении.

Исключение вентиляторов значительно повышает надёжность, снижает уровень акустического шума, упрощает систему и уменьшает её габариты при одновременном снижении стоимости. Низкий уровень акустического шума особенно важен в условиях медицинских учреждений, где требуется соблюдение тишины.

При температуре окружающей среды от –10 до +50°С источники питания серии CCM250 с конвекционным отводом тепла способны отдавать полную мощность в диапазоне входных напряжений от 90 до 275 В и 200 Вт при входных напряжениях ниже 80 В.

По габаритам источники питания серии CCM250 являются наименьшими в своем классе: 152,4 × 101,6 × 39,1 мм, что делает их идеальными для установки в конструктивы высотой 1U. Незаменимы новые ИП и в приложениях, где требуется обеспечивать кратковременное превышение мощности, например, при запуске электромоторов, поскольку они способны отдавать в нагрузку пиковую мощность до 300 Вт в течение 500 мс.

Модули оснащены полным набором функций для управления и мониторинга их состояния: 5-В канал для организации дежурного режима, дистанционное включение/выключение, сигналы состояния входного и выходного напряжений. Полумостовой преобразователь использует эффективную резонансную технологию коммутации силовых ключей при нулевом токе через транзистор; КПД ИП не уменьшается при максимальной загрузке, т.к. потери при переключении силовых транзисторов максимально снижены (см. рис. 5).

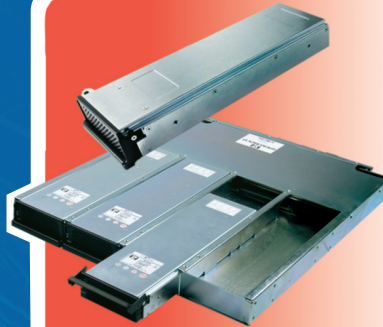
Два трансформатора заменены одним, что позволяет уменьшить площадь печатной платы. Цифровое управление формированием управляющих сигналов обеспечивает точную, синхронизированную с частотой кварцевого тактового генератора коммутацию ключевых транзисторов.

Площадь ИП уменьшена благодаря использованию современных методов конструирования. Тепловыделяющие компоненты прикреплены к П-образному шасси, а от магнитных компонентов тепло отводится кондукцией, что позволяет использовать компактные магнитопроводы.



УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЁМА,
СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ
И ПОВЫШЕНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ

С ПРИМЕНЕНИЕМ
НОВЕЙШИХ
ТЕХНОЛОГИЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ



GFR1K5

источники питания для установки в корпуса 1U

- Выходная мощность 1200-1500 Вт
- Выходные напряжения 12, 24, 48 и 56 В. Модель с выходным напряжением 56 В соответствует требованиям стандарта IEEE 802.3 af (Power-over-Ethernet)
- Удельная мощность до 1173 Вт/дм³
- Скорость вращения вентилятора регулируется в зависимости от нагрузки для уменьшения акустического шума
- В одном корпусе 1U устанавливается параллельно 4 модуля, при этом обеспечивается выходная мощность до 6 кВт
- Диапазон рабочих температур от -20 до +70°C
- Для широкого ряда промышленных и коммуникационных применений



CCM250

высокоэффективные источники питания

- Пиковая мощность 300 Вт в течение 500 мс
- Конвекционный отвод тепла
- КПД до 95%
- Габариты (Ш×В×Г) 101,6×39,1×152,4 мм
- Диапазон рабочих температур от -10 до +70°C
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений



ECC100

источники питания с широким диапазоном рабочих температур

- Выходная мощность 100 Вт при конвекционном отводе тепла
- Диапазон рабочих температур от -40 до +75°C
- Диапазон входного напряжения 85-264 В переменного тока (частота 47-400 Гц)/ 120-370 В постоянного тока
- Выходные напряжения 12, 15, 24, 28 и 48 В
- Сигнал состояния выходного напряжения, дистанционное включение/выключение, внешняя обратная связь



DLA

влагозащищённые источники питания для светодиодного освещения

- Входное напряжение 90-305 В переменного тока (частота сети 47-63 Гц)
- Выходные мощности 50, 75, 120, 150 Вт
- Модули со стабилизированным выходным напряжением и стабилизированным выходным током
- Коэффициент мощности до 0,96
- КПД до 93%
- Диапазон рабочих температур от -35 до +70°C
- Диапазон температур хранения от -40 до +80°C
- Степень защиты IP67
- Области применения: архитектурно-художественное освещение, ландшафтная подсветка, внутреннее и наружное освещение

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru
САМАРА Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КИЕВ Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru
УФА Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • E-mail: info@ufa.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КАЗАНЬ Тел.: (843) 291-7555 • Факс: (843) 570-4317 • E-mail: info@kzn.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ОМСК Тел.: (3812) 286-521 • E-mail: omsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЧЕЛЯБИНСК Тел.: (351) 239-9360 • E-mail: chelyabinsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КРАСНОДАР Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • E-mail: krasnodar@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

Аналог тензорезистивного преобразователя на эффекте Холла

Александр Драпезо, Вячеслав Ярмолович, Алексей Лосев, Игорь Буслов, Валерий Бауткин (Москва)

Проанализировано современное состояние измерительных преобразователей как неотъемлемых элементов информационно-измерительных систем и автоматизированных систем управления технологическими процессами. Описан миниатюрный механоэлектрический преобразователь с использованием эффекта Холла.

В последние годы большое внимание уделяется созданию механоэлектрических преобразовательных устройств в миниатюрном исполнении с использованием эффекта Холла. Их преимуществом является отсутствие механического контакта между объектом контроля или измерения и органом преобразования, что значительно повышает надёжность таких систем. Принцип действия – бесконтактное превращение индукции магнитного поля в электрический выходной сигнал, его преобразование и обработка. Создание таких устройств позволяет осуществить групповое изготовление миниатюрных элементов Холла стандартными методами микроэлектроники (фотолитография, скрайбирование, приварка контактов, герметизация), использовать взаимозаменяемые группы источников магнитных полей и малогабаритных корпусов, унифицированные платы усиления и обработки сигнала.

В качестве источников магнитного поля применяются миниатюрные системы постоянных магнитов из редкоземельных материалов. Магниточувствительные элементы Холла выполняются из гетероэпитаксиальных структур антимионида индия на полупроводнике арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда n -типа. Эти мини-устройства могут объединяться в двухкомпонентные или трёхкомпонентные магниточувствительные зонды и собираться в матрицы.

При изготовлении двухкомпонентных зондов элементы Холла располагаются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а в трёхкомпонентных зондах соответственно в трёх. Такие зонды широко используются в различных отраслях – от устройств

контроля в автоматике и автомобильном транспорте до разработок в медицине и лечебных технологиях – и предназначены для измерения магнитной индукции в диапазоне от 0,001 до 10 000 мТл в узких зазорах (>100 мкм) при температуре от 1,5 до 473 К. Зонды могут применяться для проведения уникальных научных исследований и при создании малогабаритных (активная область 100×100 мкм) электронных преобразователей механических величин в электрический сигнал.

Современное развитие и совершенствование измерительных преобразователей как неотъемлемых элементов информационно-измерительных систем и автоматизированных систем управления технологическими процессами определяет новые задачи, в том числе и перед разработчиками первичных преобразователей физических величин.

Одним из видов первичных преобразователей являются упругие механические преобразователи, которые в настоящее время получили широкое распространение в качестве первичных преобразовательных элементов датчиков различных физических величин (веса, нагрузки, вибрации и др.). В таких измерительных устройствах контролируемым параметром, как правило, является деформация определённого элемента конструкции объекта.

При проектировании и последующей эксплуатации элементов силовых конструкций не допускаются большие величины их деформации, что приводит к малым значениям выходных перемещений элементов преобразователя. Вследствие этого, в качестве первичных преобразователей для квазистатических деформаций, на практике применяются в основном тензорезистивные преобразователи.

Однако при больших импульсных нагрузках ударного характера или циклических с большим количеством циклов применение тензопреобразователей затруднено или практически невозможно из-за их временной нестабильности, в основном связанной с проблемой крепления тензорезисторов к деформируемому элементу и необратимыми изменениями электрических свойств материала тензорезистора. Обычно максимальное количество циклов срабатывания тензорезисторов ограничено числом $10^7 \dots 10^8$.

В процессе выполнения работ по повышению точности измерения и надёжности работы первичных преобразователей физических величин авторами статьи предложено решение, альтернативное традиционному. В разработанной конструкции датчиков произведена замена тензорезистивных преобразователей на механоэлектрические преобразователи перемещений (МЭПХ), состоящие из миниатюрных преобразователей Холла и высокоградиентных магнитных систем на основе миниатюрных постоянных магнитов (например, из самарий-кобальтовых сплавов).

Современные магниты имеют острую магнитную индукцию более 1,3 Тл. Это позволяет создавать в миниатюрных магнитных системах, таких как квадрупольная магнитная линза, в узком зазоре градиент магнитной индукции, превышающий 2,0 Тл/мм. С использованием прецизионных миниатюрных преобразователей Холла МПХ ШИЯБ.007.00.000 (разработка ООО «Вист групп сенсор»), размещённых в узком зазоре 130 мкм, обеспечивается разрешающая способность преобразователей перемещений не менее чем 0,005 мкм, что позволяет использовать их вместо тензорезисторов.

На сегодняшний день широко доступны датчики Холла других фирм могут функционировать в зазорах, на порядок превышающих указанный, что влечёт за собой требования к использованию существенно больших магнитных систем для получения ана-

логичных характеристик преобразователей перемещений.

Главное преимущество МЭПХ перед тензорезисторами заключается, прежде всего, в бесконтактном съёме информации о перемещении контролируемого объекта посредством измерения величины индукции магнитного поля преобразователем Холла. При этом количество циклов срабатывания ограничивается только стабильностью и воспроизводимостью упругих деформаций в контролируемом объекте. МЭПХ не боится импульсных (ударных) нагрузок и других механических воздействий, не приводящих к возникновению остаточной деформации контролируемого силового элемента. Простота конструкции обеспечивает высокую надёжность и долговечность МЭПХ.

В качестве примера практического использования МЭПХ можно привести разработанные, изготовленные и прошедшие дорожные испытания весоизмерительные системы для контроля груза большегрузных карьерных самосвалов. Реализован проект по внедрению миниатюрной измерительной системы в тело (конструкцию) несущей

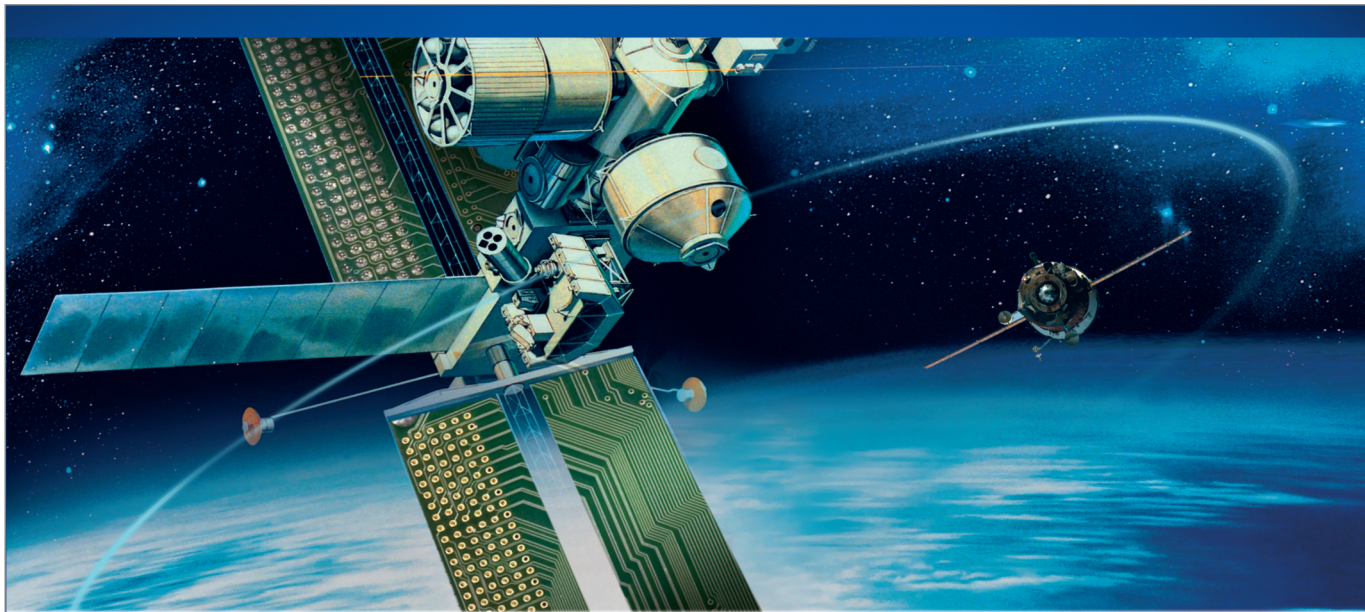
детали автомашины (ось, применяемая в автомобилестроении для соединения кузова с шасси). В этом случае обеспечено требование контроля загрузки автосамосвала не только в статике, но и в динамике. Решить подобную задачу, используя тензопреобразователи, невозможно, поскольку упругий элемент конструкции машины постоянно подвергается критическим нагрузкам.

Реализованная измерительная система представляет собой стержень из немагнитного материала, на котором жёстко закреплена магнитная система. Стержень вкручен в тело оси таким образом, что малейший прогиб оси приводит к перемещению магнитной системы. В свою очередь, миниатюрный преобразователь Холла жёстко крепится на торце оси и позиционируется в узком зазоре высокоградиентной магнитной системы. Таким образом, с использованием конструктивной особенности детали (ось прогибается под нагрузкой) практически без изменения её конструкции и технических характеристик реализована измерительная система, надёжность которой зависит только от надёжности самой детали,

при этом не требуются изменения в документации по установке, обслуживанию и ремонту узла автосамосвала.

На рисунке 1 представлены реальные графики работы большегрузного автомобиля БелАЗ, сформированные в системе контроля загрузки (СКЗ). График зависимости веса, перевозимого самосвалом, от времени (погрузка, перевозка, разгрузка, холостой пробег автосамосвала) представляет собой обработанные по определённому алгоритму данные, полученные при помощи описанной выше измерительной системы. Сопоставление данных, полученных с весоизмерительной системы, с величиной расхода топлива и скоростью движения автосамосвала позволяет выработать рекомендации по экономии топлива и оценить качество вождения автосамосвала каждым водителем, а также сократить простой и оптимизировать скоростной режим движения без ущерба безопасности движения.

График зависимости количества топлива в баке от времени также сформирован на основании данных, полученных от датчика уровня топлива УТ-90, в основе функционирования которого



Свыше 3 млн. наименований продукции

Комплексные поставки электронных компонентов СПЕЦИАЛЬНОГО, ДВОЙНОГО И ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

ЗАО «Фаворит – Электронная Компания»

Web: www.favorit-ec.ru ■ тел./факс: +7(495)627-76-24



Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК» в Республике Беларусь, г. Минск
Тел.: +375 (17) 227-12-95 • info@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК» в Санкт-Петербурге ООО «Невская Электронная Компания»
Тел.: +7 (812) 449-52-40 • www.spbnek.ru • nek@spbnek.ru

Реклама

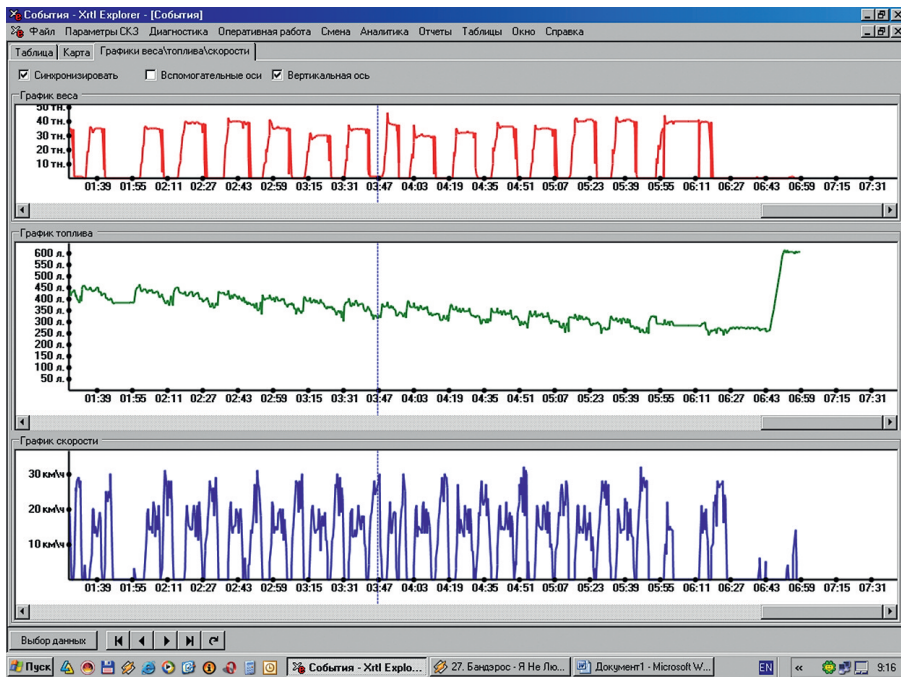


Рис. 1. Реальные графики работы большегрузного автомобиля

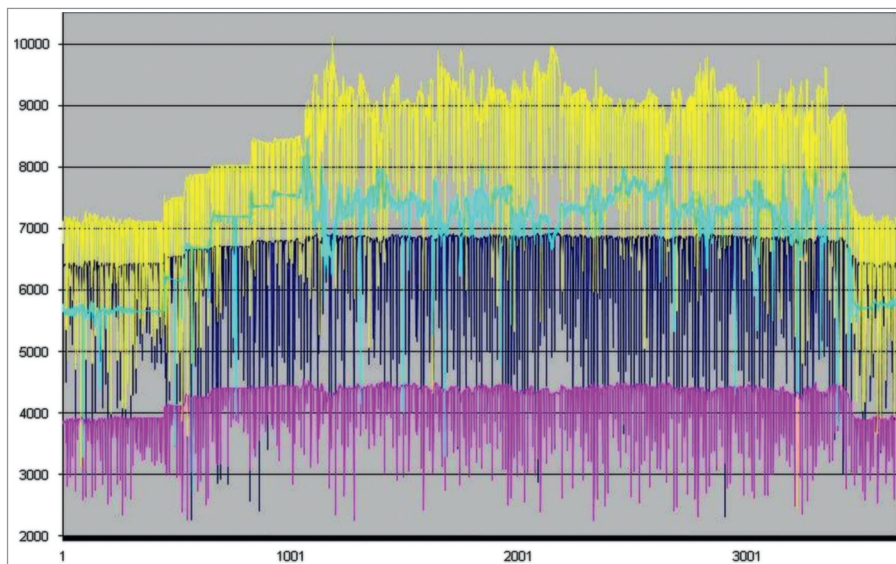


Рис. 2. Графики показаний с четырёх МЭПХ большегрузного автомобиля

лежит угловой преобразователь поворота штанги с поплавком на эффекте Холла, что подтверждает возможность использования эффекта Холла для измерения различных физических величин.

Точные измерения веса перевозимого груза невозможно получить по данным с одного МЭПХ, поскольку упругий прогиб различных частей контролируемых конструкций отличается из-за сложной эпюры распределения деформаций. Следовательно, целесо-



Рис. 3. Внешний вид датчика деформаций

образно применять измерения деформации (прогиба) в 4 – 6 точках. Затем с использованием микропроцессорной обработки можно вычислить величину загрузки кузова с относительной погрешностью не более 5%. На рисунке 2 приведены временные графики показаний с четырёх МЭПХ большегрузного автосамосвала.

Весоизмерительные системы могут быть построены по принципу контроля минимальных деформаций в несущих конструкциях, таких как шасси автомобиля, железнодорожный рельс и т.д. Особенностью таких систем является обязательное разнесение точек крепления двух конструктивных деталей (рычагов). На одной из деталей располагается высокоградиентная

магнитная система, на другой – элемент Холла. Высокая точность и надёжность системы достигается путём расчёта длины каждого из рычагов в зависимости от условий эксплуатации, а также определения зазора между магнитами и расположением в нём элемента Холла. Общий вид такого датчика деформаций приведён на рисунке 3, а его конструкция представлена на рисунке 4.

Основными механическими частями датчика деформации являются два пластика 1 и 4, приваренные, например, к надрамнику автомобиля или к несущей раме. Магнитная система 2, состоящая из двух постоянных противоположно намагниченных магнитов из SmCo_5 и создающая необходимый градиент магнитного поля по оси X, размещена на жёстком кронштейне 3. Миниатюрный преобразователь Холла 5 на латунном держателе совмещён с электронной платой 6 и располагается в зазоре магнитной системы с возможностью перемещения по оси X в вертикальной плоскости. Чувствительным механическим элементом, воспринимающим нагрузку, является надрамник, который работает на изгиб и обеспечивает линейное перемещение магнитной системы относительно ПХ на величину $\Delta x = 45 \dots 50$ мкм при величине загрузки в $P_{\text{max}} = 30$ т. Перемещение магнитной системы относительно преобразователя Холла вызывает линейное изменение наведённой э.д.с. Холла, т.к. в рабочей области перемещений индукция магнитного поля имеет постоянный градиент. Преобразование э.д.с. Холла осуществляется простой электронной схемой.

Повышенная надёжность и стабильность работы механоэлектрических преобразователей обуславливается тем, что связь между первичным датчиком и подвижными механическими частями осуществляется по магнитному полю. Миниатюрность элементов Холла позволяет оснащать устройства дублирующими каналами измерений. Датчики изготавливаются по групповой технологии микроэлектроники, что значительно уменьшает их стоимость. Блоки усиления сигналов и обработки информации создаются по модульному принципу и являются взаимозаменяемыми. Кроме того, проектирование механоэлектрических преобразователей, а также их оптимизация выполняются с привлечением теории решения изобретательских задач и функционально-стоимостного анализа.

Начиная с 1990-х годов, интенсивно проводятся работы в области создания прецизионных механоэлектрических преобразователей для контроля положения подвижных исполнительных механизмов сканирующих систем космической аппаратуры. Многолетний опыт сотрудничества с Институтом космических исследований РАН показал высокую перспективность использования эффекта Холла для изготовления прецизионных механоэлектрических преобразователей. Разработанные устройства хорошо себя зарекомендовали, например, на стадии предполётных испытаний в космическом аппарате «Марс-96», в реальном полёте «Марс-экспресс». Их уникальность проявилась в точном соблюдении всех технических характеристик на протяжении длительной эксплуатации в сложных космических условиях. Изделия прошли опытные испытания в вакууме и при сверхнизких температурах. Использование миниатюрных магнитных систем на основе редкоземельных магнитов позволило значительно уменьшить массу и габариты устройств контроля положения подвижных исполнительных механизмов космической аппаратуры. Сочетание микроминиатюрности датчиков с микромагнитными системами для них дало возможность получить новое качество приборов контроля – высокую разрешающую способность. Для достижения высокой временной стабильности технических характеристик была разработана специальная технология магнитной стабилизации микромаг-

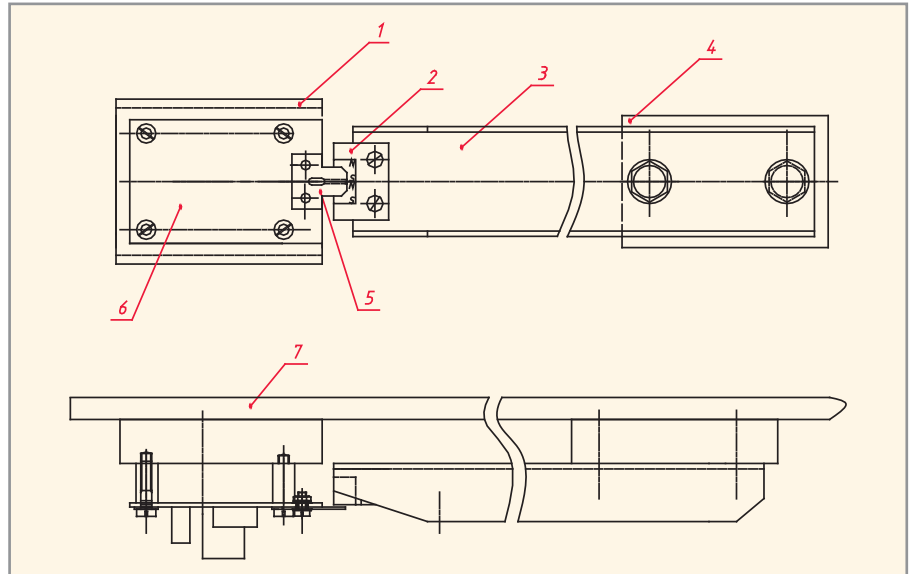


Рис. 4. Конструкция датчика деформации

1 – пластик, 2 – магнитная система, 3 – кронштейн, 4 – пластик, 5 – ПХ, 6 – электронная плата, 7 – надрамник автомобиля

тов с помощью термообработки в печи и трёхкратной циклической выдержки при заданной температуре, зависящей от химического состава магнитов, с последующим медленным охлаждением. Таким образом, данный комплекс технологических операций обеспечивает высокую точность определения положения подвижных исполнительных механизмов космической аппаратуры.

Прибор «Омега» с механоэлектрическими преобразователями положения более четырёх лет успешно функционирует на марсианской орбите в составе научного комплекса европейского космического аппарата «Марс-экспресс». Датчики обеспечили

получение большого объёма научной видеoinформации высокого качества, что позволило изучить ряд новых явлений в составе атмосферы и в геологии поверхности планеты.

В настоящее время идёт разработка прецизионных механоэлектрических преобразователей положения исполнительных механизмов для ряда приборов, которые планируется устанавливать в российских космических аппаратах, а именно: датчиков положения сканирующих узлов для геостационарных спутников, датчиков положения исполнительных органов измерительных приборов для научных программ «Фобос», «Меркурий» и др. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Новое поколение дешёвой и компактной памяти на мультиферроиках

Команда французских исследователей продемонстрировала новый способ создания компактной цифровой памяти для портативной электроники, потребляющей меньше энергии. Это стало возможным благодаря мультиферроикам – классу материалов, комбинирующих необычные электрические и магнитные свойства.

На микроскопическом уровне атомы и молекулы генерируют электрические и магнитные поля. В большем масштабе в случае многих кристаллов эти свойства частиц сводят на нет действия друг друга. Но иногда в определённых составах, известных как ферромагнетики, магнитные свойства существуют на макроскопическом уровне и превращают материалы в магниты. Реже встречается элек-

трическая упорядоченность в ферроэлектриках. И совсем особый случай – комбинация электрических и магнитных характеристик, как в мультиферроиках. Более того, в этих материалах поля взаимодействуют, что предоставляет способ контролировать спины атомов посредством электрического поля. Это открывает новые перспективы, особенно в хранении информации.

Исследователи из Лаборатории физики твёрдого тела (Laboratoire de Physique des Solides) и других научных организаций синтезировали состав со свойствами мультиферроика BiFeO_3 и продемонстрировали взаимодействие между его электрическими и магнитными свойствами. Затем был создан материал из одного слоя BiFeO_3 и ферромагнитной плёнки, на котором учёные показали возможность манипулировать ориентацией намагничивания частиц

путём приложения электрического поля. Результаты подтверждают концепцию хранения и записи «магнитных» данных.

В сегодняшних жёстких дисках биты записываются определяющим намагничивание магнитным полем. Два возможных состояния обозначают 1 и 0. В случае мультиферроика каждый элемент памяти может находиться в четырёх состояниях (два в соответствии с электрической поляризацией и ещё два – с намагниченностью). Возможность записывать и стирать данные электрическим полем имеет ключевой характер для развития мобильной электроники по двум причинам. Во-первых, генерирование такого поля требует меньше энергии, а значит, аккумуляторы прослужат дольше. Во-вторых, оно более локально, т.е. на единице площади может быть размещено больше элементов памяти.

physorg.com

Дифференциальный волоконно-оптический вибродатчик

Александр Куриленко (г. Москва), Антон Щевелёв, Татьяна Мурашкина, Олег Граевский, Юрий Макаров (г. Пенза)

Описан дифференциальный волоконно-оптический вибродатчик, отличающийся простотой изготовления и улучшенными метрологическими характеристиками.

Актуальной проблемой современной техники является измерение параметров вибраций, ударов и помех. Трудно найти объект или производственный процесс, который не испытывал бы воздействие вибрационных, ударных или акустических нагрузок. Наиболее перспективными являются волоконно-оптические датчики для измерения параметров вибрации, обеспечивающие надёжное функционирование информационно-измерительных систем в искро-, взрыво- и пожароопасных условиях.

Один из вариантов нового конструктивного решения дифференциального волоконно-оптического вибродатчика (ВОВД) реализован на базе волоконно-оптического преобразователя перемещения (ВОПП) в виде подводящих (ПОВ) и отводящих оптических волокон (ООВ), между которыми под действием вибрации перемещается модулирующий элемент – шарообразная линза (ШЛ). Конструкция ВОПП показана на рисунке 1. Расстояние от торца подводящего оптического волокна до поверхности шарообразной линзы определяется как

$l_1 = S_f - l_0$, где $l_0 = 0,5d_c / \text{tg}\theta_{NA}$, $S_f = |-f| - r_L$, $f = n_L r_L / 2(n_L - 1)$; d_c , θ_{NA} – диаметр сердцевины и апертурный угол оптического волокна; r_L , n_L – радиус и коэффициент преломления шарообразной линзы.

Расстояние от поверхности шарообразной линзы до торца отводящих оптических волокон равно:

$$l_2 = S_f - \frac{0,5d_c}{\Theta_{\text{ВЫХ}}}$$

С учётом теоремы синусов,

$$\frac{r_L}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}} = \frac{f}{\sin\omega}, \quad \omega = 180 - \gamma.$$

Геометрические построения, показанные на рисунке 1, приводят к следующим соотношениям:

$$\Theta_{\text{ВЫХ}1} = \arcsin \left(\frac{n_L \left(\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)} \pm X \right) \sin\Theta_{NA}}{\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)}} \right),$$

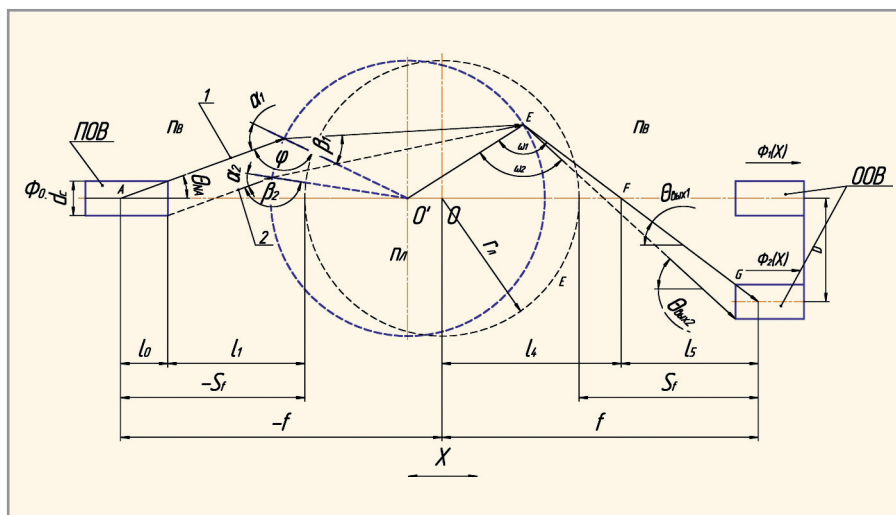


Рис. 1. Геометрическое построение к расчету волоконно-оптического преобразователя перемещения с шаровой линзой

$$\Theta_{\text{ВЫХ}2} = \arcsin \left(\frac{n_L \left(\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)} \pm X - \frac{d_c}{2 \text{tg}\Theta_{NA}} \right) \sin\Theta_{NA}}{\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)}} \right). \quad (1)$$

При перемещении линзы по оси Z относительно оптических волокон происходит эквивалентное смещение луча, перпендикулярное оптической оси линзы, на величину $Z_i = X_i \text{tg}\theta_{NA}$. Расстояние между оптической осью и осью ООВ определяется как $D = l_5 \text{tg}\theta_{\text{ВЫХ}}$, $l_5 = f(x) - l_4$, $f(x) = f \pm X_i$. Учитывая теорему синусов, имеем:

$$\frac{l_4}{\sin\omega(x)} = \frac{r_L}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}} \Rightarrow l_4 = \frac{r_L \sin\omega(x)}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}}.$$

Таким образом,

$$D = \left(\frac{n_L r_L}{2(n_L - 1)} - \frac{r_L \sin\omega}{\sin\Theta_{\text{ВЫХ}}} \right) \text{tg}\Theta_{\text{ВЫХ}}. \quad (2)$$

Определение оптимального расстояния D для конкретного конструктивного исполнения осуществляется путём численного моделирования по формулам (1) и (2). Например, для ВОПП, в котором используются ООВ с параметрами $d_c = 200$ мкм, $\theta_{NA} = 14^\circ$, $r_L = 0,75$ мм, $n_L = 1,47$; $l_1 = 1$ мм, $l_2 = 1,4$ мм, значение $D = 1,2$ мм.

На основе предложенного ВОПП в Научно-техническом центре «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» разрабатывается дифференциальный ВОВД для современной авиационной и ракетно-космической техники. Чертёж общего вида датчика и его фотография приведены на рисунках 2 и 3 соответственно.

Дифференциальный ВОВД (см. рис. 2) состоит из шарообразной линзы 1, закреплённой на упругих подвесах 2, которые установлены в корпусе 4 при помощи крышки 3 и крепежей 5; волоконно-оптического кабеля 8, содержащего ПОВ (пучок 1) и ООВ (пучок 2), которые жёстко закреплены в наконечниках 7 на расстоянии l и l_1 относительно шарообразной линзы, и втулки 6. В качестве упругих подвесов используются

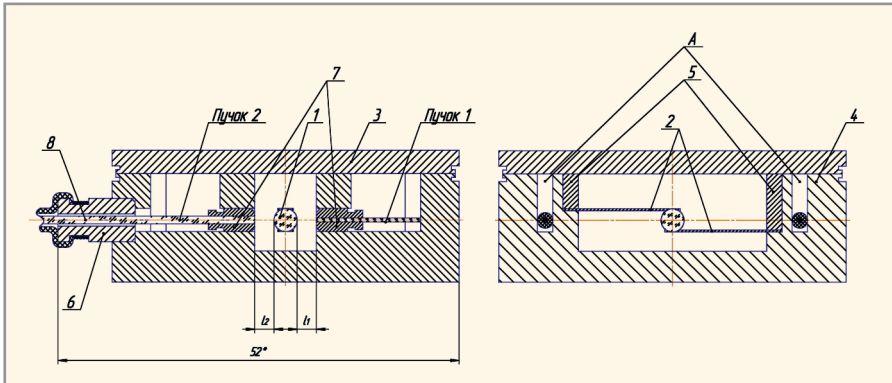


Рис. 2. Чертёж общего вида ВОВД



Рис. 3. Внешний вид дифференциального ВОВД

плоские пружины с круглым отверстием, обладающие более высокой чувствительностью к нагрузкам по сравнению с упругими подвесами других типов.

Поскольку дифференциальный ВОВД работает при переменных напряжениях и в широком температурном диапазоне с циклическим изменением температуры окружающей среды, то упругий подвес выполнен из стали марки 3БНХТЮ; ПОВ и ШЛ расположены на одной оптической оси, причём первый – в корпусе в виде полукольца определённого радиуса. Полость А между корпусом 4 и крышкой 3 заполняется герметиком, обеспечивающим неподвижность волокон. На концах упругих элементов сделаны отверстия, в которые заходят верхняя и нижняя нерабочие части линзы; таким образом происходит защемление линзы между двумя упругими подвесами, что обеспечивает надёжное крепление. Для обеспечения дополнительной надёжности крепления предусмотрена фиксация пружин при помощи стягивания металлической леской. Путём расчёта на прочность и жёсткость определяются геометрические параметры пружины.

Принцип действия дифференциального ВОВД заключается в следующем. Электрический сигнал $U_{\text{п}}$, поступающий на вход оптоэлектронного блока вибродатчика, преобразуется с помощью электрооптического преобразователя источника излучения ИИ в оптический сигнал Φ_0 и по ПОВ подаётся в зону измерения, т.е. на оптический чувствительный элемент. Под действием вибрации происходит перемещение шарообразной линзы и изменение интенсивности сигнала Φ_0 . Световые потоки $\Phi_1(X)$ и $\Phi_2(X)$, прошедшие через шарообразную линзу, по ООВ первого и второго измерительных каналов поступают на приёмники излучения ПИ1 и ПИ2 первого и второго измерительных каналов соответственно, где преобразу-

ются в эквивалентный фототок $I_1(X)$ и $I_2(X)$, который затем преобразуется в напряжение $U_1(X)$ и $U_2(X)$ с помощью преобразователей фототок – напряжение первого и второго измерительных каналов. Здесь же напряжения $U_1(a)$ и $U_2(a)$ усиливаются до необходимой величины, и на выходе ВОВД получается результирующее напряжение, по амплитуде которого можно судить о наличии вибрации в зоне измерения.

Описанный датчик имеет простую, надёжную конструкцию, не требует сложных технологических, юстировочных и измерительных операций при изготовлении оптической системы. Он реализован с использованием относительно недорогой элементной базы: многомодовых оптических волокон, а также свето- и фотодиодов.

Поскольку в конструкции датчика используется дифференциальная

схема управления световым потоком, то:

- увеличена чувствительность преобразования оптических сигналов;
- получена линейная функция преобразования ВОВД в целом;
- снижены погрешности, обусловленные изменением мощности источника излучения, чувствительности приёмников излучения при изменении температуры окружающей среды, зависимостью механических свойств упругого подвеса от температуры окружающей среды, изгибами оптических волокон под воздействием внешних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадеева Е.А., Горши А.В., Котов А.Н., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г. Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом. МГУЛ, 2004. ©

Научно-технический центр
«Нанотехнологии волоконно-оптических систем»



Внедрение научных разработок
 волоконно-оптических датчиков давления, вибрации,
 ускорения, перемещения, волоконно-оптической системы
 измерений дискретных значений уровня жидкости



ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет»
 Пенза, ул. Красная, 40
 Тел./факс: (841-2) 36-84-59, моб.: (8-960) 318-6310
 E-mail: timurashkina.pgu@mail.ru



Двухчастотные генераторы серии DGSR для измерения интермодуляционных искажений

Виктор Безруков, Владимир Алексеенков (Московская обл.)

Радиотракты с высокой степенью линейности – на уровне 100 дБ – требуют измерительных средств, для контроля. В статье описаны двухчастотные генераторы серии DGSR с динамическим диапазоном более 100 дБс, предназначенные для измерения интермодуляционных искажений элементов радиотракта.

ПАРАМЕТРЫ НЕЛИНЕЙНОСТИ РАДИОТРАКТА

Для описания нелинейных искажений устройств широкого диапазона применения производители наиболее часто используют следующие величины:

- P1dB (1dB compression point) – выходная мощность устройства при компрессии усиления на 1 дБ; точка передаточной характеристики $P_{\text{вых}} = f(P_{\text{вх}})$, в которой выходной сигнал уменьшается на 1 дБ относительно идеальной характеристики (см. рис. 1);
- IMD (intermodulation distortion) – интермодуляционные искажения для заданного выходного уровня

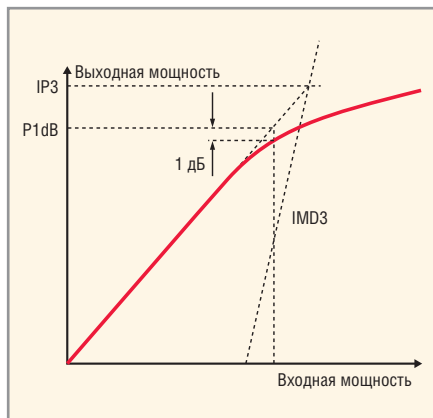


Рис. 1. Точка компрессии P1dB и точка пересечения 3-го порядка IP3

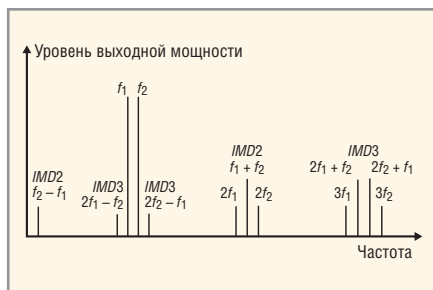


Рис. 2. Интермодуляционные искажения 2-го и 3-го порядка

мощности. Обычно измеряют двухтональные искажения, подавая на вход устройства два чистых синусоидальных сигнала с близкими частотами (обычно с разницей в 1 МГц). На выходе устройства можно наблюдать результат искажения этих сигналов (см. рис. 2). Значение IMD выражается в децибелах относительно уровня любой из двух тестовых частот (дБс) и, как правило, относится к составляющим третьего порядка $2f_2 - f_1$ и $2f_1 - f_2$, т.к. их трудно отфильтровать из-за близкого расположения к исходным сигналам f_1 и f_2 ;

- IMD2 – интермодуляционные искажения 2-го порядка $-f_2 - f_1$, $2f_1, f_1 + f_2, 2f_2$;



Рис. 3. Конструкция двухчастотного генератора типа DGSR2300M2700N

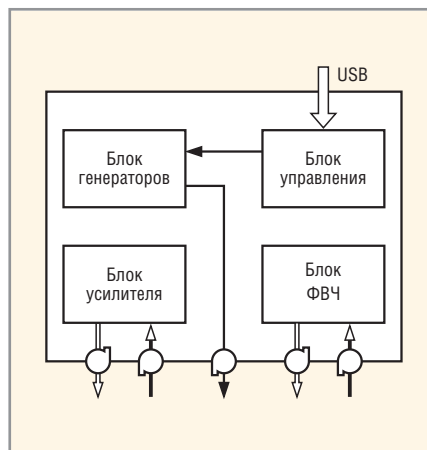


Рис. 4. Структурная схема двухчастотного генератора типа DGSR2300M2700N

- IMD3 – интермодуляционные искажения 3-го порядка $-2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1, 3f_1, 2f_1 + f_2, 2f_2 + f_1, 3f_2$;
- IP3 – точка пересечения 3-го порядка (см. рис. 1) – точка пересечения линейного графика зависимости выходной мощности от входной и графика зависимости IMD3 от входной мощности. Данная характеристика носит оценочный характер, позволяя делать неплохие оценки в отношении линейности.

Для устройств с повышенными требованиями клинелиности используется такая характеристика, как SFDR (spurious free dynamic range, динамический диапазон, свободный от гармоник) – отношение среднеквадратичного значения амплитуды сигнала к среднеквадратичному значению пикового побочного спектрального состава в заданной полосе частот и измеряемого в дБс [1].

Для измерения P1dB, IMD, SFDR нужно иметь источник сигнала с искажениями значительно меньшими, чем требуется от разрабатываемого изделия. В [3] описаны двухчастотные генераторы DGS, измерение их характеристик. Здесь описаны генераторы DGSR, являющиеся развитием серии DGS в направлении увеличения их функциональности и расширения частотного диапазона.

Генераторы выпускаются с 20-% (относительно центральной частоты) перестройкой частот (для каждой литеры) и в целом охватывают диапазон частот от 40 до 6000 МГц. В обозначении генераторов первое число обозначает нижнюю, а второе – верхнюю границу перестройки частоты. Например, генератор на диапазон частот от 2300 до 2700 МГц обозначается как DGSR2300M2700N.

ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРА DGSR2300M2700N

Приведём краткое описание и параметры генератора типа DGSR. Конструкция генератора показана на рисунке 3, а структурная схема – на рисунке 4. Корпус генератора металлический с двойным экраном. Пита-

ние на генератор подаётся от персонального компьютера через USB-разъём; СВЧ-разъёмы – типа N или SMA.

Функционально – генератор состоит из четырёх блоков, как показано на рисунке 4. Блок генераторов имеет два независимых канала формирования частоты. Источники сигналов – микросхемы PLL с высокостабильными кварцевыми резонаторами, что обеспечивает точность установки частоты не более $0,5 \times 10^{-6}$ с шагом 1 МГц. Уровень фазового шума при отстройке на 10 кГц не превышает –90 дБс. Сигналы генераторов далее усиливаются, фильтруются и объединяются на одном выходе. В результате на выходе DGSR – чистый двухчастотный сигнал с уровнем гармонических составляющих каждого из сигналов не более –100 дБс и уровнем IMD3 не более –100 дБс. В тракте каждого сигнала – аттенюатор, позволяющий устанавливать его выходную мощность в пределах от –30 дБм до 1 дБм с шагом 0,5 дБ, и амплитудный модулятор с регулируемой частотой.

Порядок работы с генератором DGSR иллюстрирует окно интерфейса (см. рис. 5). Блок управления позволяет управлять всеми функциями генератора от персонального компьютера под ОС Windows через USB-порт:

- включать и выключать сигналы генераторов;
- устанавливать частоты сигналов;
- включать, выключать и устанавливать частоту модуляции сигналов;
- устанавливать уровень выходной мощности сигналов.

В корпусе генератора DGSR также размещены, с отдельными входным и выходным разъемами каждый, усилитель мощности, позволяющий увеличить выходную мощность до 100 мВт и блок фильтра верхних частот (ФВЧ); ФВЧ подавляет сигналы DGSR на 40 дБ, а его полоса пропускания включает частоты, соответствующие нелинейным искажениям этих сигналов второго порядка и выше. Это даёт снижение собственных гармонических искажений анализатора спектра, поскольку основные сигналы DGSR на его входе уменьшены на 40 дБ. Результат – возможность измерения нелинейных искажений сигналов самого генератора и увеличения динамического диапазона измерений нелинейных искажений широкополосных устройств однотонным сигналом.

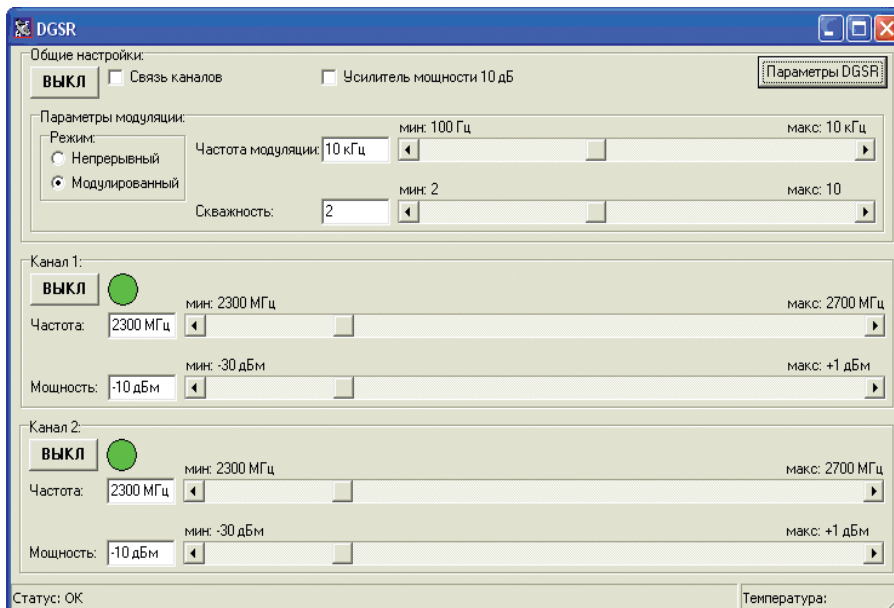


Рис. 5. Окно интерфейса генератора серии DGSR

Процедура и результаты подобных измерений приведена в [3].

В корпусе генератора DGSR кроме ФВЧ установлен усилитель мощности, также с отдельными входным и выходными разъёмами, который позволяет увеличить выходную мощность до 100 мВт.

В заключение следует отметить, что приводимые производителями данные на составляющие тракт компоненты в отношении нелинейных искажений чаще всего могут дать только приближённые оценки ожидаемых результатов. Переходы от этих данных к конкретным приложениям часто затруднительны и не дают достаточно точных результа-

тов. Генераторы серии DGSR позволяют производить измерение нелинейных искажений радиочастотных трактов с динамическим диапазоном, обеспечивающим все возможные приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналого-цифровое преобразование. Под ред. У. Кестера. Техносфера, 2007.
2. Лаборатория широкополосных сигналов, ООО «Деловой Прогресс», www.wbsl.ru.
3. Двухчастотные генераторы сигналов для испытаний устройств с высоким динамическим диапазоном по интермодуляционным искажениям. Современная электроника, 2009. № 5.



Лаборатория Широкополосных Сигналов
ООО «Деловой прогресс»

Разработка от ТЗ до серии, устройств ВЧ и СВЧ до 18 ГГц

Контактная информация:

Московская обл., г. Пушкино, ул. Заводская, д.9
 Web: www.wbsl.ru
 E-mail: info@wbsl.ru
 Тел./факс: 8 (496) 531-74-57
 8 (926) 590-78-17

- антенные устройства,
- фильтры ФНЧ, ФВЧ, ПЧ,
- смесители,
- детекторы,
- генераторы шума,
- генераторы сигналов,
- усилители малошумящие, мощные,
- электродинамические расчёты

Бюджетный агент SNMP для корпоративных систем управления

Александр Елисеев (г. Вильнюс, Литва)

Представленное в статье устройство, реализованное на открытой аппаратной платформе ARM-Dominator 4, является недорогим перепрограммируемым контроллером ввода-вывода, работающим по протоколу SNMP через сеть Ethernet. Устройство можно интегрировать в системы наблюдения и поддержания функционирования корпоративных информационных сетей.

Что такое SNMP-агент?

Как только появились компьютерные сети, возникла необходимость наблюдения за функционированием их аппаратного и программного обеспечения (к аппаратному обеспечению можно отнести маршрутизаторы, мосты, шлюзы, модемы, серверы, рабочие станции и т.д.; программным обеспечением являются операционные системы, СУБД, web-серверы и т.д.).

С этой целью в информационные сети на базе протоколов семейства TCP/IP была внедрена технология на основе протокола SNMP (Simple Network Management Protocol – простой протокол управления сетью), выделены основные характеристики аппаратного и программного обеспечения, которые следует наблюдать, разработана кодировка для передачи параметров по сети. Также была разработана концепция использования и обработки получаемых от оборудования данных. Всё это превратилось в стандарты RFC специальной комиссии по интернет-разработкам (IETF – Internet Engineering Task Force), касающиеся SNMP.

Иногда вводит в заблуждение наличие в названии протокола SNMP слова «простой». В данном случае это не означает, что протокол прост для реализации (хотя встречаются и такие утверждения). Скорее, протокол реализует только часть функциональности, которую предусматривает глобальная концепция системы управления сетями, принятая Международным союзом электросвязи.

Но даже при такой ограниченной функциональности в стандарте SNMP упомянуты сотни параметров, которые необходимо наблюдать, и не меньшее количество типов сообщений, которые оборудование должно асинхронно посылать в центры сбора информации.

Однако в инфраструктуре информационных сетей задействовано не меньшее количество вспомогательного оборудования: основные и резервные источники питания, различные преобразователи и зарядные устройства, шкафы для установки оборудования, системы кондиционирования, системы контроля доступа, отопления и т.д. Это оборудование также требует наблюдения, поскольку оказывает влияние на надёжность функционирования сетей. Крупные предприятия связи предпочитают использовать единый стандарт для наблюдения за всем оборудованием в своих информационных системах. Стандарты SNMP прочно утвердились в этой отрасли и обеспечены большим ассортиментом программных и аппаратных средств.

Представленный в данной статье контроллер KPV-4M назван SNMP-агентом, поскольку содержит в себе программный модуль, преобразующий данные с внешних входов устройства и события на входах в сообщения протокола SNMP. Помимо этого, контроллер реализует целый ряд дополнительных стандартов SNMP, что обеспечивает ему совместимость с широким кругом сторонних программных продуктов, выполняющих функции центральных менеджеров SNMP.

Контроллер построен на базе платформы ARM-Dominator 4. Подробную информацию об этой платформе можно получить на интернет-странице www.alylab.eu. Доступная элементная база и компактность программного кода делают контроллер более дешёвым, чем большинство присутствующих на рынке образцов с аналогичными характеристиками.

Несмотря на то что контроллер нацелен на использование в больших сетях,

он также может быть использован и в небольших приложениях. Стандартные наборы параметров, сообщаемые по протоколу SNMP, могут быть интересны и индивидуальным пользователям устройства. Доступные программные инструменты для персональных компьютеров позволяют наблюдать в удобной древовидной форме все состояния на входах устройства, управлять состояниями выходов и даже автоматизировать процессы удалённого управления. Наличие протокола PPP позволяет контроллеру передавать информацию не только по сети Ethernet, но и через внешние модемы, в частности модемы GSM. И, конечно, полезна масштабируемость решений на SNMP, т.е. нет препятствий для перехода от обслуживания одного контроллера к обслуживанию десятков, сотен и даже тысяч контроллеров.

Ещё одной особенностью контроллера является открытая спецификация разработки интерактивных интернет-страниц для встроеного web-сервера. Эти страницы могут использовать технологию AJAX или Adobe Flash для доступа ко всем переменным контроллера и многим командам.

Краткий обзор протокола SNMP

Протокол SNMP изначально был разработан с целью поддержания работоспособности сетей связи. Он не должен был загружать сети собственным трафиком, когда они работоспособны, и, тем более, не должен вызывать «шторм» повторных пересылок, когда сеть функционирует с перебоями. Поэтому транспортным протоколом для SNMP был выбран протокол UDP поверх протокола IP.

Протокол UDP не является протоколом с гарантированной доставкой, но в концепции применения SNMP это вполне оправданно. Инициаторы обмена по SNMP в этом случае имеют больше возможностей по регулированию интенсивности обмена пакетами на физическом уровне сети, поскольку одной из задач механизма поддержания работоспособности сети является предотвращение перегрузки этой сети.

Данные в протоколе SNMP не посылаются в виде открытого текста, как, например, в протоколе HTTP, а кодируются в специальный двоичный вид, описанный спецификацией ASN.1 (Abstract Syntax Notation One). Это – довольно сложная для освоения спецификация, формализующая описание данных и их кодирование. Причём для одинаково описанных данных может быть применено разное кодирование при передаче по каналам связи с различной степенью компактности: BER (Basic Encoding Rules), PER (Packed Encoding Rules), LWER (Light-Weight Encoding Rules), MBER (Minimum Bit Encoding Rules) и т.д. Одной из первых стала кодировка BER, которая применяется в SNMP и в некоторых источниках отождествляется с ASN.1.

Всех агентов SNMP в сети обслуживает один или несколько SNMP-менеджеров. В больших корпоративных сетях, как правило, менеджеров несколько. Менеджеры в любой момент могут запросить какой-либо параметр от SNMP-агента или изменить значение какого-либо параметра, если этот параметр разрешён для изменения. Какие параметры вообще доступны в SNMP-агенте, и какие из них доступны для изменений по SNMP, – менеджер узнаёт из MIB-файлов (MIB – Management Information Base, база данных управления), которыми должна сопровождаться документация на SNMP-агенты. Поскольку протокол SNMP стандартизован, стандартные MIB-файлы к документации не прилагаются, а вместо них даётся ссылка на стандарты RFC.

Файлы MIB написаны на языке ASN.1. Этот язык обязаны понимать все SNMP-менеджеры, чтобы работать с нестандартными SNMP-агентами. Именно расширение функций SNMP-агентов за счёт нестандартных возможностей и делает эту технологию привлекательной. Описываемый в статье контроллер интересен, прежде всего, нестандартными функциями входов-выходов, хотя имеет и стандартный набор параметров.

Во время запуска SNMP-менеджеры загружают указанные пользователями файлы MIB и компилируют их, проверяя синтаксис, связывая со стандартными файлами MIB и превращая в удобную для программ двоичную форму. Если SNMP-менеджеру не будет предоставлен файл MIB от SNMP-агента, то менеджер не сможет эффективно обслуживать этого агента, хотя и со-

хранит возможность обмена данными с агентом. Файлы MIB являются единственным источником информации, через который SNMP-менеджеры узнают о свойствах SNMP-агентов. Все файлы MIB – и стандартные, и специфические, – складываются в единое непротиворечивое дерево файлов MIB. После обработки информации из заданного набора файлов MIB, SNMP-менеджеры представляют её пользователям в виде удобной древовидной структуры на экране компьютера. Иногда используются утилиты командной строки, но их рассмотрение можно опустить ввиду наличия более удобных альтернатив.

Как было указано выше, информация из файлов MIB представляется в виде древовидной структуры. Так было решено ещё до того, как SNMP-менеджеры научились рисовать эти структуры на экране. Первые ветви этого дерева были стандартизованы, и теперь их уже нельзя ни переименовать, ни удалить в собственных файлах MIB-агентов. Более того, в файлах MIB-агентов эти ветви не описываются, а просто даётся ссылка на стандартные файлы MIB. Свою фантазию производитель может проявлять, только начиная с узла enterprises в дереве файлов MIB.

На рисунке 1 показано дерево файлов MIB SNMP-агента KPV4M. Как следует из рисунка, агент содержит стандартные параметры, известные как MIB-II (RFC 1213), и частные или специфические для данного устройства параметры, расположенные под узлом enterprises. Специфические для агента параметры начинаются узлом alylab. Узлы в дереве файлов MIB для краткости также могут быть представлены в числовом формате (каждому узлу присвоен номер, и положение узла в дереве записывают в числовой нотации, начиная от корня). Эта запись называется идентификатором объекта (object identifier – OID).

Положение узла alylab будет тогда записано как 1.3.6.1.4.1.28311. Эту запись можно увидеть в нижней части окна на рисунке 1. Здесь узел alylab имеет номер 28311. Этот номер не может быть выбран произвольно, он называется IANA Private Enterprise number, и его выделяет предприятиям международная организация Internet Assigned Numbers Authority. Выдача номера производится совершенно бесплатно, и основанием для выдачи может быть просьба, высланная по электронной

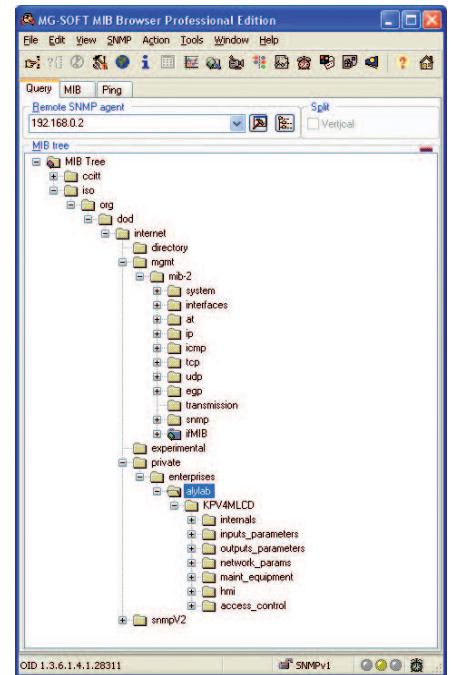


Рис. 1. Дерево файлов MIB SNMP-агента контроллера KPV4M

почте. Получив уникальный номер предприятия, можно не беспокоиться, что файлы MIB вашего SNMP-агента окажутся в конфликте с файлами MIB других агентов.

На рисунке 1 показаны только основные корневые узлы дерева файлов MIB-агента. Под ними скрываются узлы и параметры более глубоких уровней. В общей сложности в стандартном поддереве MIB-II содержится до 185 объектов. В поддереве alylab представленного здесь SNMP-агента находится 190 объектов. Объектами могут быть числовые или строковые параметры, а также таблицы. Таблицы удобно применять, когда количество параметров некоторого типа может быть переменным и заранее неизвестным. Это, например, записи таблицы маршрутизации. Количество этих записей периодически изменяется, и в MIB-файле нельзя заранее задать описание каждого маршрута. Тогда применяется объект «таблица», прочитать который SNMP-менеджер может только итеративно, считывая все записи до появления признака отсутствия последующих записей.

Помимо объектов (параметров), которые можно читать и записывать, в SNMP существуют специальные асинхронные trap-сообщения. Они формируются SNMP-агентами без запроса со стороны менеджера и могут нести значения некоторых параметров из MIB-дерева агента, которые производитель считает нужным передать с

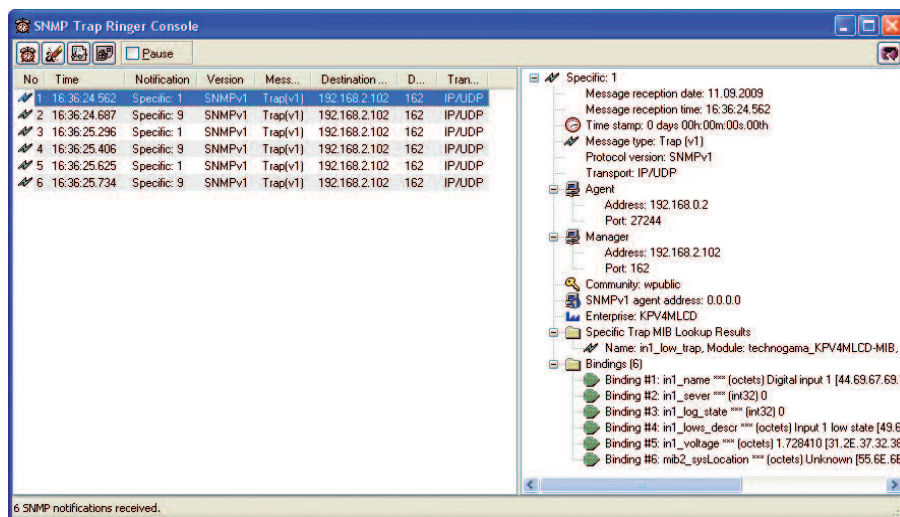


Рис. 2. Пример консоли менеджера SNMP

этим сообщением. Всего специфицировано шесть стандартных типов trap-сообщений: холодный старт, горячий старт, выключение коммуникационного интерфейса, включение интерфейса, ошибка аутентификации и отключение партнёра по уже уставшему протоколу EGP. Седьмой тип сообщения может нести произвольную информацию, определяемую производителем. Этот тип и используется SNMP-агентом для передачи специфических сообщений об изменениях состояний или тревогах. В сообщении имеется поле specific-trap, в котором задаётся уникальный номер типа специфического trap-сообщения.

На рисунке 2 представлен вид консоли одного из SNMP-менеджеров с полученными trap-сообщениями. В правой части окна отображено содержание первого сообщения. Это сообщение об изменении состояния на первом цифровом входе устройства. Наряду с типом самого сообщения, пользователь получает дополнительно данные о названии входа, степени важности сообщения, текущем логическом состоянии входа, описание состояния, абсолютное значение напряжения на этом входе и информа-

цию о географическом расположении устройства. Консоли развитых SNMP-менеджеров способны проводить разбор данных из таких сообщений и предпринимать решения по фильтрации этих сообщений, передаче их другим службам, включении тревожной сигнализации и т.д.

В протоколе SNMP предусмотрены облегчённые механизмы защиты от несанкционированного доступа. Это некие аналоги паролей, называемые community. Поле community передаётся в каждом пакете SNMP. Агент при несовпадении community с его собственным игнорирует такие пакеты. Также предусмотрены community только для чтения, для чтения-записи и community, передаваемые в trap-сообщениях. Описываемый здесь SNMP-агент поддерживает все типы community и дополнительно поддерживает фильтрацию по IP-адресам из задаваемого списка. Также возможна поддержка community, позволяющих работать только с отдельными ветвями MIB-дерева.

Всё вышесказанное относилось к общему подмножеству возможностей протокола SNMP, реализованных в версии SNMP v1. Но существуют более совершенные версии этого протокола: SNMP v2 и SNMP v3. Во второй версии протокола SNMP были модернизированы средства передачи больших блоков данных, усовершенствованы сообщения об ошибках, введены новые типы данных; trap-сообщения приобрели новый формат, и появилась возможность подтверждения их доставки, которой в SNMP v1 не было. В третьей версии протокола SNMP появилось шифрование протокола SNMP, авторизация и команды обмена сообщениями между SNMP-агентами.



Рис. 3. Внешний вид контроллера KPV-4M

ОПИСАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА

Контроллер KPV-4M (см. рис. 3) построен на аппаратной платформе ARM-Dominator 4 и предназначен для выполнения функций контроля внешних датчиков с выходными сигналами в виде «сухих» релейных контактов, для контроля работы инверторов фирмы Gamatronic и для измерения сигналов с различных резистивных датчиков температуры и др.

Устройство имеет восемь аналоговых входов и пять цифровых выходов типа открытый коллектор. Сенсорная бесконтактная клавиатура и ЖК-дисплей позволяют редактировать параметры и установки прибора, а также просматривать журналы событий и состояний на его входах и выходах.

Журналы событий и системная информация сохраняются на SD-карту ёмкостью 2 Гб и могут быть легко прочитаны на компьютере либо через внешние интерфейсы устройства, либо напрямую с SD-карты через соответствующие адаптеры. Журналы содержат полный отчёт о системных событиях, передаваемые через интерфейсы данные и диагностические сообщения с метками времени с точностью до 1 мкс.

В качестве коммуникационных интерфейсов в устройстве используется: RS-232, Ethernet 10/100Base-T, USB 2.0. Контроллер KPV-4M оснащён программным обеспечением, выполняющим, помимо прочего, функции SNMP-агента. Это позволяет контроллеру работать в составе сетевых систем мониторинга, управляемых такими программными пакетами, как HP OpenView или OpenNMS.

Агент SNMP контроллера сообщает центральному серверу системы мониторинга о всех изменениях логического состояния на входах устройства, об изменениях состояния инвертора Gamatronic и об изменениях во внутреннем состоянии устройства.

Технические характеристики контроллера KPV-4M:

- напряжение питания8...16 В;
- ток потребления
.....220 мА при напряжении 12 В;
- количество входов8 ;
- уровень измеряемого потенциала на входах3,3 В;
- внутреннее сопротивление входов10 кОм;
- количество выходов5 ;
- максимальное коммутируемое напряжение на выходах50 В;
- максимальный коммутируемый выходами ток5 А;

- габариты140 × 110 × 35 мм. Внешние интерфейсы контроллера KPV-4M (см. рис. 4):
 - интерфейс RS232 с разъёмом RJ6 для подключения инверторов фирмы Gamatronic и другого оборудования; скорость до 256 Кбит/с;
 - интерфейс RS-232 с разъёмом DB9 (DCE) для подключения к компьютеру; скорость до 256 Кбит/с;
 - интерфейс Ethernet 10/100Base-T для подключения в сеть мониторинга;
 - интерфейс USB 2.0 со скоростью до 12 Мбит/с для подключения к компьютеру.
- Протоколы, поддерживаемые устройством по интерфейсу RS-232:
- для подключения к инверторам Gamatronic используется фирменный пакетный протокол ASCII в режиме <9600,8,n,1>;
 - для подключения к компьютеру используется потоковый протокол ASCII для эмуляции терминала VT100 в режиме <115200,8,n,1>;
 - при загрузке нового программного обеспечения используется пакетный протокол Y-modem в режиме <115200,8,n,1>;

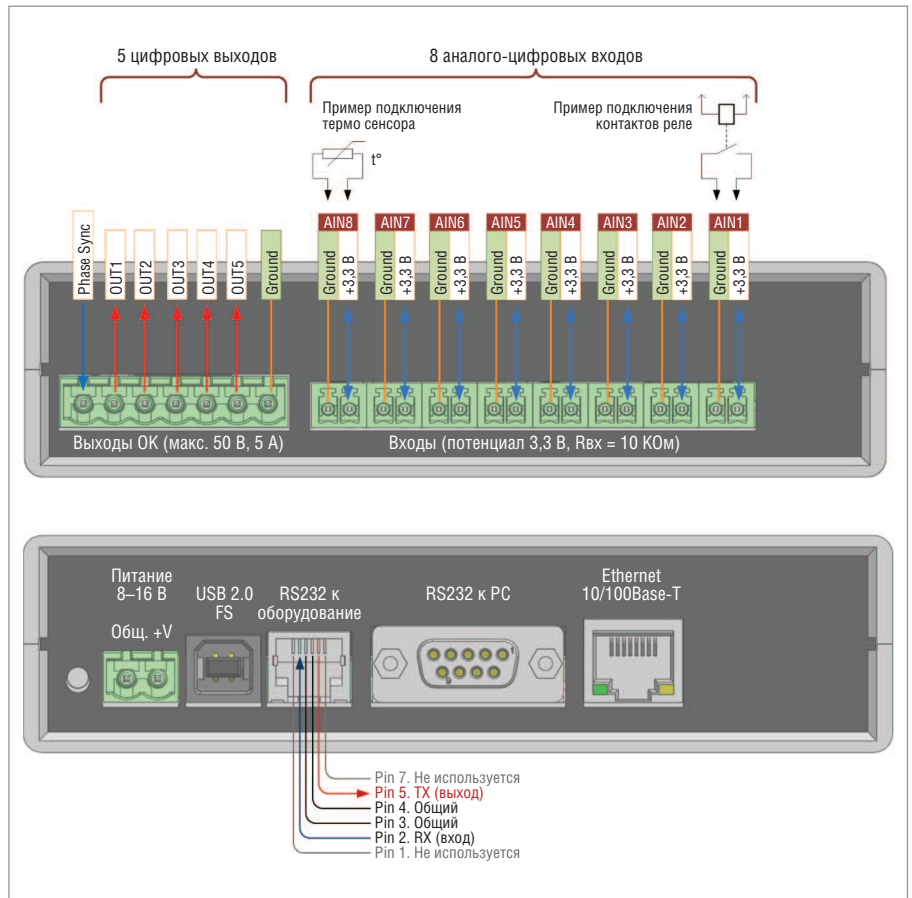


Рис. 4. Внешние интерфейсы контроллера

430 лм @ 350 мА

111 лм @ 350 мА

107 лм @ 350 мА

Области применения светодиодов:
 архитектурная и ландшафтная подсветка,
 системы общего освещения,
 переносные прожекторы и фонари,
 подсветка витрин и рекламных щитов,
 уличное освещение.

Ярче звезд

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР CREE В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

Тел.: (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru • www.cree.ru

- PPP для связи с внешней сетью по TCP/IP через модем или компьютер.

Протоколы, поддерживаемые устройством по интерфейсу Ethernet:

- протокол ARP для идентификации MAC-адреса устройства в сети;
- протокол ICMP, и в частности, поддержка запросов PING;
- протокол DHCP для автоматического получения IP-адреса контроллером в сетях, где предусмотрен такой механизм;
- протокол DNS для определения IP-адресов по доменным именам;
- протокол NTP для получения точного времени от внешних серверов времени;
- протокол FTP-клиента для загрузки и выгрузки файлов с удалённого FTP-сервера;
- протокол FTP-сервера для управления файлами в файловой системе контроллера с удалённых FTP-клиентов;
- протокол Telnet для управления устройством с удалённого терминала Telnet таким же образом, как через интерфейс RS-232 в режиме эмуляции терминала VT100;
- протокол HTTP для организации web-сервера в контроллере с поддержкой технологии SSI и CGI; web-сервер предоставляет возможность управления устройством, просмотра состояний его входов и выходов и других административных действий;
- протокол агента SNMP v1 для передачи сообщений центральному серверу SNMP-мониторинга и для просмотра внутренних параметров и состояний контроллера.

Может быть установлен протокол SNMP v2 или SNMP v3. Устройство поддерживает стандартный набор переменных MIB RFC1213 и специальный набор переменных, специфицированных в файле KPV4M.MIB.

Протоколы, поддерживаемые устройством по интерфейсу USB: протокол виртуального COM-порта, поверх которого используется потоковый протокол ASCII виртуального терминала VT100 в режиме <115200,8,n,1>.

Конфигурирование контроллера

После подачи питания или сигнала сброса контроллер KPV-4M производит конфигурирование своих внутренних параметров. Вначале параметры заполняются значениями по

умолчанию, хранящимися в самой программе контроллера. Вслед за этим с SD-карты устройства считываются параметры, записанные в файле PARAMS.INI. Если данный файл на SD-карте отсутствует, то он создаётся на SD-карте заново с использованием значений по умолчанию.

Файл с параметрами PARAMS.INI является простым текстовым файлом, содержащим записи в формате {ключ}={значение}, где {ключ} – сокращённое название параметра, а {значение} является строкой со значением, присваиваемым параметру. Кроме того, файл содержит комментарии с описанием параметров и их порядковый номер в файле.

Пример содержания файла «PARAMS.INI»:

```

;-----
; Ethernet interface parameters
;-----
; N=011 MAC address
MAC="00:1A:07:AC:22:09"

; N=012 Device IP addr
HIP="192.168.0.2"

; N=013 Network mask
NMSK="255.255.255.000"

; N=014 Default gateway
DGTW="192.168.0.1"

```

В приведённом выше примере показан фрагмент с четырьмя заданными параметрами. Параметр с номером 011 является MAC-адресом устройства, параметр с номером 012 является IP-адресом устройства и т.д. Комментарии в файле начинаются с символа ';'. Числовые значения параметров записываются без пробелов и кавычек. Десятичная точка всегда обозначается точкой (не запятой). Параметры, которые могут содержать символы, строки и пробелы, заключаются в скобки. Символ скобок должен быть такой, какой указан в примере.

Дополнительные настройки прибора можно произвести изменением значений соответствующих параметров в файле PARAMS.INI на SD-карте контроллера. Если файл был отредактирован с помощью FTP-клиента, т.е. без извлечения карты из устройства, то для вступления параметров в силу устройство необходимо перезагрузить. Отметим, что

SD-карту нельзя извлекать из устройства при включенном питании.

Помимо прямого редактирования параметров, в файле PARAMS.INI параметры устройства можно просматривать и редактировать с помощью web-браузера через интерфейс Ethernet, с помощью терминальной программы в режиме эмуляции терминала VT100 через интерфейс RS-232 и с помощью программы SNMP-менеджера.

Конфигурирование интерфейса Ethernet

Для работы в сети Ethernet в устройстве должны быть сконфигурированы три параметра:

- IP-адрес самого устройства (N=012 Device IP addr); по умолчанию 192.168.0.2;
- маска сети (N=013 Network mask); по умолчанию 255.255.255.000;
- адрес шлюза в общую сеть (N=014 Default gateway); по умолчанию 192.168.0.1.

Если в одном сегменте сети будут работать несколько устройств KPV-4M, то следует также изменить MAC-адреса остальных устройств, сделав их разными. Для этого можно увеличивать на единицу число в пятой паре цифр MAC-адреса для каждого устройства.

Иногда в сети Ethernet используют возможность автоматического назначения IP-адреса устройствам с помощью протокола DHCP. В таком случае нет необходимости устанавливать параметры IP-адресов и маски, но требуется правильно указать сетевое имя устройства и включить DHCP (параметры 016 и 015 в файле PARAMS.INI соответственно).

Конфигурирование протокола SNMP

Контроллер KPV-4M по умолчанию работает по протоколу SNMP v1. Чтобы внешние программы SNMP-менеджеров могли обмениваться информацией с контроллером, они должны иметь общие с контроллером имена (или пароли), называемые community. В контроллере предусмотрены отдельные community для чтения и для записи (соответственно 096 и 097 в файле PARAMS.INI).

Если SNMP-менеджер будет использовать community, предназначенный только для чтения, то он не сможет изменить ни один параметр устройства. Поэтому следует внимательно устанавливать community. Если оба имени

community в контроллере будут одинаковы, то для SNMP-менеджера с таким community будут открыты и чтение, и запись.

При необходимости в устройстве можно изменить уникальный номер IANA предприятия и три системных параметра SNMP с номерами 098 – 100. Параметр 101 (Enable IP filtering), установленный в «1», позволяет фильтровать обращения от SNMP-менеджеров и пропускать только те обращения, которые приходят с IP-адресов, указанных в параметрах 102 – 105.

Использование MIB-файлов

Чтобы SNMP-менеджеры могли отобразить на дисплее дерево параметров устройства с их описаниями и правильным обозначением типов, им необходимо предоставить описание параметров устройства в каком-то виде. Для этой цели служат т.н. MIB-файлы.

Файлы MIB представляют собой текстовые файлы, обычно с расширением .mib, содержащие подробное описание всех параметров устройства, которые должны быть видны SNMP-менеджеру. Файлы MIB используют сложную нотацию специального языка ASN1. Менеджеры SNMP, как правило, преобразуют MIB-файлы в собственный формат и отображают пользователю информацию, хранящуюся в MIB-файле, в виде древовидной структуры.

Как упоминалось выше, существуют стандартизированные MIB-файлы, описанные в рекомендациях RFC, и специфичные MIB-файлы, индивидуальные для каждого типа устройств и создаваемые производителями устройств. Менеджеры SNMP уже содержат стандартные MIB-файлы; специализированные MIB-файлы должен предоставлять пользователь.

В контроллере KPV-4M специфичный MIB-файл хранится на SD-карте в директории MIB под названием KPV4M.MIB. В этом файле описано более сотни различных параметров контроллера KPV-4M, а также несколько десятков типов сигнальных сообщений (trap).

Программы для тестирования и работы с агентом SNMP

Известны десятки доступных программ – менеджеров SNMP. Они подключаются к SNMP-агентам и предоставляют пользователю удобный диа-

лог с устройствами. Рекомендуемые автoром SNMP-менеджеры:

- MG-SOFT MIB Browser Professional Edition компании MG-SOFT Corporation;
- OidView MIB Browser компании ByteSphere.

Оба перечисленных пакета являются коммерческими, но доступны (бесплатно) их полнофункциональные версии, работающие в течение 30 дней с момента инсталляции.

Настройка прибора и работа через виртуальный терминал VT100 и Telnet

Контроллер KPV-4M может быть сконфигурирован локально с ПК через интерфейс RS-232 или USB. При подключении ПК к контроллеру через USB на компьютере с ОС Windows создается виртуальный COM-порт. При создании виртуального COM-порта система может потребовать драйвер устройства; в ответ на такой запрос следует предоставить системе файл stmcdc.inf, поставляемый в приложении к контроллеру.

При наличии физического COM-порта следует соединить контроллер

НАДЕЖНАЯ ПАМЯТЬ ДЛЯ ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ



- Скорость чтения до 80 Мбайт/с
- Скорость записи до 60 Мбайт/с
- До 2 млн циклов стирания-записи
- Интерфейсы Compact Flash и IDE
- Расширенный температурный диапазон -40...+85°C



**ФЛЭШ-ПАМЯТЬ
СЕРИИ 8000**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



Тел.: (495) 234-0636 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

Реклама

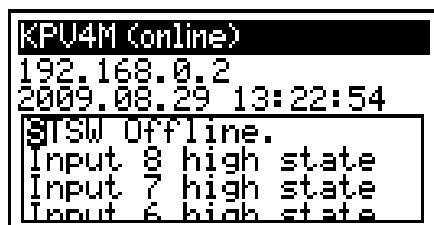


Рис. 5. Вид основного экрана после включения контроллера и присоединения к сети

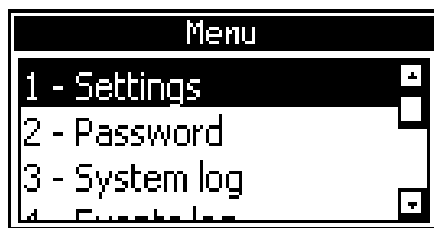


Рис. 6. Основное меню контроллера

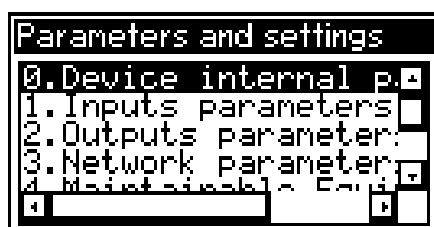


Рис. 7. Окно при входе в редактирование параметров контроллера

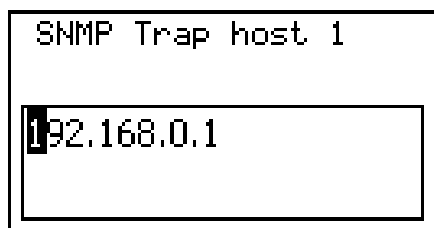


Рис. 8. Пример окна редактирования первого IP-адреса назначения SNMP-трапов

и компьютер обычным, «прямым» кабелем RS-232. На ПК должна быть запущена терминальная программа, настроенная на режим <115200,8,n,1>. После подачи питания на контроллер на экране терминала должна появиться запись с версией начального загрузчика:

```

Bootloader started. Ver: Aug 29
2009 21:20:58
SD card initialized.
    
```

Далее отобразится информация о процессе обновления программного обеспечения или его проверки.

Чтобы начать работу с меню устройства, следует нажать кнопку Enter на ПК. Работа с программным монитором и меню контроллера через терминальную программу рассматривается в документе «Работа с монитором KPV-4M», поставляемом в приложении.

Чтобы удалённо подсоединиться к контроллеру через протокол Telnet, необходимо включить контроллер в сеть Ethernet. Если такая связь установлена, то одним из возможных способов подключения к контроллеру будет следующий:

- в системе Windows в меню Start Run ввести команду cmd;
- в открывшемся окне набрать команду telnet {IP-адрес контроллера};
- если команда прошла успешно, то в окне появится диалог, аналогичный терминальной программе.

Контроллер запрограммирован для поддержки не более двух одновременных telnet-сессий.

Использование web-интерфейса

Контроллер KPV-4M имеет встроенный web-сервер. Для работы с web-сервером можно использовать любой web-браузер. Чтобы открыть главную страницу web-сервера, в строке URL следует ввести адрес контроллера по умолчанию (http://192.168.0.2). На главной странице web-сервера контроллера расположена информация о работе внешнего подключенного инвертора фирмы Gamatronic. С главной страницы также можно перейти:

- в меню редактирования параметров устройства;
- в панель состояния входов/выходов и установки состояний выходов;
- в диагностическую панель состояния центрального процессора контроллера;
- в панель редактирования списка привилегированных пользователей;
- в другие диагностические панели.

Для редактирования и просмотра параметров устройства web-сервер запрашивает аутентификацию пользователя. По умолчанию в контроллере установлен пользователь Developer с административными правами. При запросе аутентификации следует ввести:

- Name: Developer
- Password: 14789632

Настройка и работа с клавиатурой и дисплеем

Клавиатура и дисплей контроллера позволяют просматривать текущий журнал событий контроллера, дату и время, IP-адрес устройства в сети и т.д. На рисунке 5 показано основное окно контроллера. В верхней строке выводится сетевое имя контроллера и его статус подключения к сети. В следую-

щей строке выводится IP-адрес устройства. Ниже – текущая дата и время. Если контроллер не смог связаться с серверами точного времени, то вместо даты и времени будет прочерк. В контроллере можно задать до двух произвольных IP-адресов серверов точного времени либо отключить функцию синхронизации.

Нижнюю половину экрана занимает журнал текущих событий. Вверху отображаются более поздние события. Журнал можно прокручивать вверх и вниз кнопками стрелок. Журнал можно стереть, нажав кнопку [Del].

Для перехода в основное меню прибора (см. рис. 6) необходимо нажать кнопку [Menu]. Из меню можно перейти в режим редактирования параметров, в режим просмотра различных журналов и в режим ввода пароля. Для этого нужно стрелками вверх и вниз установить выделение на нужном пункте и нажать кнопку [Enter]. Для возврата на предыдущий уровень меню следует нажать кнопку [Esc]. Пароль требуется вводить, только если в настройках прибора включен режим ограничения доступа.

По умолчанию ввод пароля для редактирования параметров устройства не требуется. В контроллере предусмотрено два пароля: один позволяет только считывать параметры, второй позволяет их редактировать. Также в приборе можно ввести пароль для разблокирования клавиатуры после некоторого времени простоя. Блокировка клавиатуры по умолчанию отключена.

При входе в меню редактирования параметров (см. рис. 7) выбор требуемого пункта производится стрелками вверх-вниз, также возможен прямой выбор пункта по номеру нажатием соответствующей цифровой кнопки. Меню параметров имеет древовидную структуру. Возврат на предыдущий уровень производится кнопкой [Esc]. Если название пункта меню не помещается целиком на экране, то его можно прочитать, используя кнопки со стрелками влево и вправо. При входе в режим редактирования параметра появляется окно, показанное на рисунке 8.

При редактировании цифровых параметров можно вводить только цифры и символы точки и знака. При редактировании строковых параметров дополнительно появляется диалог выбора символов. Дополнительные символы есть на всех цифровых клавишах,

а также на кнопках точки, нуля и знаков плюс/минус. После выбора символа следует нажать [Enter].

Если параметр введён правильно, то после нажатия кнопки [Enter] он сразу же записывается в файл параметров на SD-карте. Если требуется отменить редактирование, нажимается кнопка [Esc]. Для перемещения курсора при редактировании можно использовать кнопки стрелок влево/вправо, вверх/вниз, [Del], [Insert], [End], [Home], [BackSp].

ТЕХНОЛОГИЯ ОБНОВЛЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В КОНТРОЛЛЕРЕ

Программное обеспечение можно обновить двумя путями:

- записью файла boot.bin в корневую директорию SD карты;
- записью файла boot.bin в корневую директорию FTP-сервера контроллера.

Файл boot.bin содержит зашифрованный образ программного кода, загружаемого во внутреннюю флэш-память микроконтроллера. Помимо файла boot.bin, может понадобиться заменить файл PARAMS.INI, чтобы с об-

новленной программой вступили в действие новые параметры устройства.

Для записи на SD-карту её следует извлечь из выключенного устройства. Файловая система SD-карты имеет формат FAT16, доступный для ПК. Для более надёжного и быстрого чтения контроллером файла boot.bin желательно иметь недавно отформатированную карту без лишних файлов. После записи файла на SD-карту, её вставляют в контроллер и затем включают питание. Спустя примерно минуту контроллер включается и начинает работать по обновлённой программе.

При записи файла boot.bin через FTP-сервер контроллера надо сначала присоединиться к его FTP-серверу. Параметры доступа по умолчанию к FTP-серверу контроллера:

- user name: anonymous
- password: 123@123

После того как файл boot.bin будет записан на FTP-сервер контроллера, следует отключиться от FTP-сервера и подключиться к контроллеру через Telnet (см. настройку прибора и работу через терминал VT100 и Telnet). В главном меню монитора прибора сле-

дует выбрать пункт <5> – Reset device. После этого связь с контроллером прервётся. Спустя минуту можно предпринять попытку нового подключения к устройству.

ДЕМОНСТРАЦИОННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА

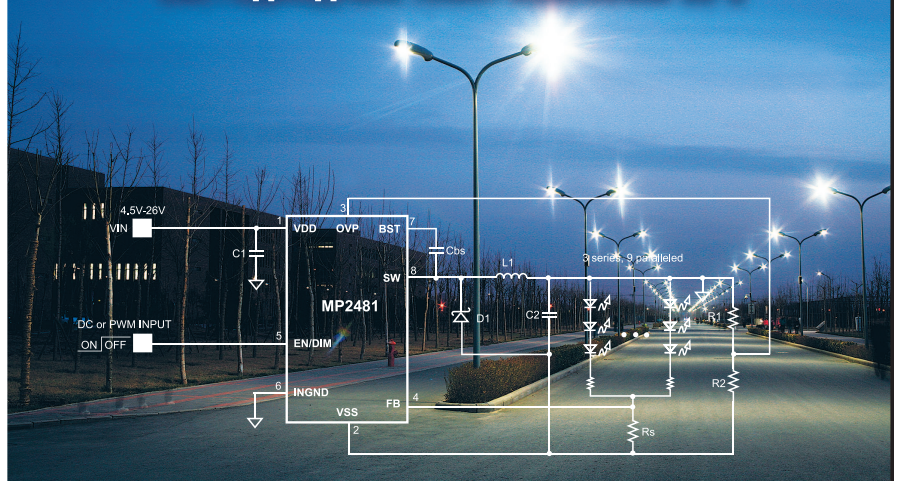
Демонстрационную версию программного обеспечения контроллера KPV-4M можно скачать с интернет-страницы <http://www.alylab.eu>. Платформа ARM-Dominator 4, на которой сделан контроллер KPV-4M, сохраняет достаточно неиспользованных ресурсов и позволяет расширять функциональность устройства, добавляя в него новые протоколы и интерфейсы.

Так, например, контроллер может служить шлюзом между SNMP-менеджерами и сетями устройств, работающими по протоколу MODBUS или CANopen. Также контроллер применялся для конвертирования данных в SNMP с различных счётчиков электроэнергии, работающих по протоколу IEC 62056-21. ©



- Высокая стабильность и повторяемость характеристик микросхем
- Защита от перегрузки по току, напряжению и температуре
- Рабочее напряжение до 36 В
- Высокая эффективность до 95%
- Температурный диапазон эксплуатации -40°C ... +85°C
- Готовое изделие не требует регулировки

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИДНЫХ ЛАМП КОМПАНИИ MPS



Наименование	Рабочее напряжение, В	Максимальное количество светодиодов	Частота, МГц	Количество каналов	Корпуса
MP2481	4,5...36	36	1,4	9	MSOP8
MP2370	4,5...24	3	1,4	1	QFN16-3
MP3021	2,7...5,5	4	1,2	4	QFN16-3
MP3001	2,7...5,5	5	1,2	5	TSOT23-6
MP3202	2,5...6,0	39	1,3	13	QFN8-2
MP3302	2,5...6,0	27	1,3	9	TSOT23-5

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ MPS В РОССИИ



АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
Тел.: (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

Реклама

Нестандартное использование контроллера Intel 80c32

Алексей Гребенников (г. Актау, Казахстан)

В статье описан макет управляющего интерфейса для подключения геофизических приборов, реализованного на микросхеме восьмиразрядного контроллера Intel 80c32 в нестандартном включении.

ВВЕДЕНИЕ

Микросхема Intel 80c32 является восьмиразрядным контроллером с отдельным адресным пространством для программного кода и данных. Но с помощью одного логического элемента эти пространства можно объединить, что, в сочетании со статической энергонезависимой памятью (VBRAM), предоставляет полезную возможность многократной загрузки с компьютера исполняемого кода без перепрограммирования ПЗУ. В данном случае на базе контроллера 80c32 реализовано управление геофизическими приборами с помощью компьютера (см. рис. 1).

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Прибор состоит из двух частей – платы контроллера и интерфейса. За основу платы контроллера взята модифицированная плата «трекбола» фирмы BKS, которая содержит контроллер 80c32, «защёлку» 74HC573 и ПЗУ объёмом 32 Кб с ультрафиолетовым стиранием. Для обеспечения связи с компьютером через последовательный порт RS-232 была добавлена микросхема 74HC04 – два буфера, изображённые на блок-схеме прибора (см. рис. 2). Имеющаяся на плате ИС ПЗУ была заменена на микросхему статической энергонезависимой батарейной памяти (VBRAM) типа M48T08, из которой

можно запускать загруженные программы.

Однако контроллер 80c32 использует отдельные строб-импульсы чтения памяти кода PSEN~ и данных RD~, поэтому записывать данные в память кода во время выполнения программы нельзя. Но это ограничение можно обойти. Для этого следует соединить выводы PSEN~ и RD~ контроллера элементом И (см. рис. 2), тогда процессор начинает считывать код и данные из одной и той же памяти.

Микросхема VBRAM сначала «прошивается» кодом начального загрузчика при помощи программатора. Затем начальный загрузчик загружает другую программу через COM-порт компьютера, и в ту же самую память можно записывать данные. Таким образом, для тестирования рабочих программ не требуется программатор.

Для программирования микросхемы VBRAM использовался одноплатный промышленный компьютер Motorola MVME162-022 [2], в котором предусмотрено гнездо для установки такой памяти. Программная оболочка rBUG162 [3] обеспечивает доступ к микросхеме VBRAM (адреса FFFC0000b – FFFC1FFFb в адресном пространстве процессора Motorola M68040). Код загрузчика 80c32 в формате srec через последовательный порт компьютера загружается по адресам VBRAM.

НАЧАЛЬНЫЙ ЗАГРУЗЧИК

Начальный загрузчик (код которого приведён в файлах *boot_t2_400.asm* и *symbols_t2.b*) располагается по адресам 0 – 3FFb и загружает исполняемую программу по адресам 400b – 1FFFb через последовательный порт компьютера, запускает загруженную программу и выполняет одну тестовую команду. После включения питания загрузчик инициализирует все регистры контроллера 80c32 и переходит в режим ожидания одной из вышеупомянутых команд.

Все программы разрабатывались под операционной системой Linux. Для

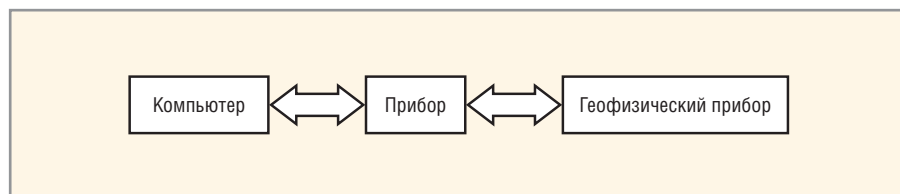


Рис. 1. Схема подключения прибора

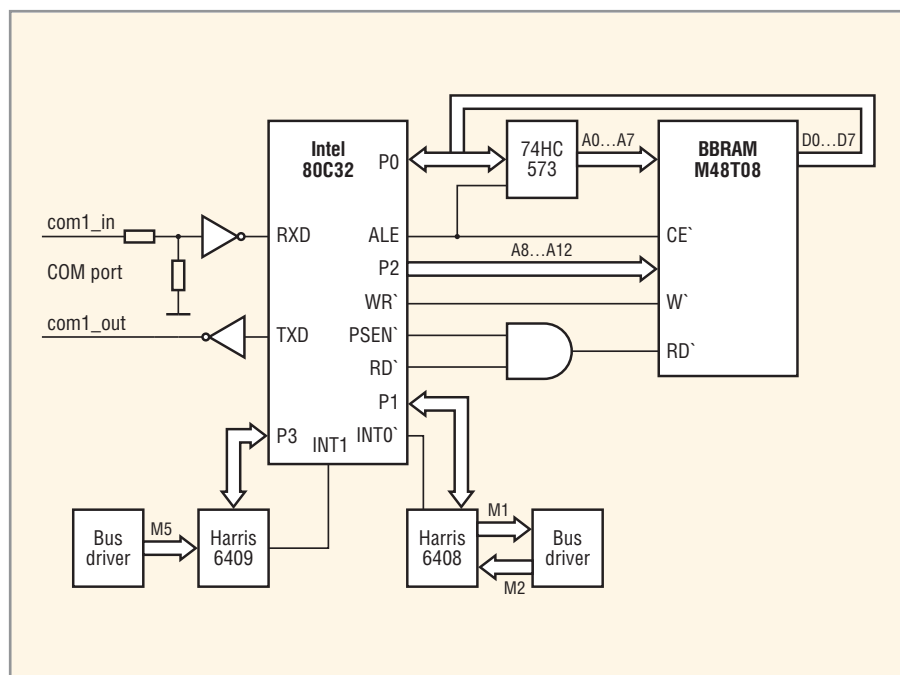


Рис. 2. Блок-схема прибора

контроллера 80с32 использовался макроассемблер *asem-51*, доступный (бесплатно) в сети Интернет. Этот ассемблер генерирует выходные файлы в формате *Intel hex* или *bin*, тогда как для платы MVME162-022 необходим файл в формате *Motorola srec*. Для преобразования формата *hex* в формат *srec* использовалась утилита *objcopy* из набора программ *m68k-bp* для процессоров Motorola серии m68k. Команда преобразования выглядит следующим образом:

```
> ./objcopy --adjust-vma
0xffffc0000 -o srec
boot_t2_400.hex boot_t2_400.srec
```

т.е. начальным адресом преобразования является базовый адрес памяти VBRAM в адресном пространстве процессора M68040.

Далее подключаемся к оболочке *pBUG162* платы MVME162-022 через порт COM1 и набираем команду:

```
pBUG162> lo 0
```

После выполнения этой команды оболочка *pBUG162* ждёт последующей загрузки файла в формате *srec* через тот же самый порт. Загружаем файл:

```
> sed 1d boot_t2_400.srec
>/dev/ttyUSB0
```

В данном случае */dev/ttyUSB0* является файлом устройства последовательного порта на компьютере.

Теперь загрузчик готов. Переставляем микросхему памяти VBRAM из гнезда в плату MVME162-022 в плату контроллера 80с32 и приступаем к написанию основной программы, для загрузки и исполнения которой нам уже не потребуются никакого специального оборудования.

ИНТЕРФЕЙС

Схема интерфейса для подключения геофизических приборов преобразует сигнал NRZ с уровнями напряжений 0...5 В в сигнал манчестерского кода с уровнями ± 10 В для передачи команд геофизическому прибору и выполняет обратное преобразование для декодирования данных, полученных от геофизического прибора. Рассматриваемый в этой статье прибор работает с сигналами манчестерского кода трёх типов.

Сигнал M1 имеет частоту 20,83 кГц; каждое слово состоит из 16 бит данных, бита чётности и синхросигнала. Этот тип кода передаётся только по направлению к геофизическому прибору (см. рис. 2). Сигнал M2 аналогичен M1, но имеет частоту 41,66 кГц и передаётся от геофизического прибора. Сигнал M5 имеет частоту 93,75 кГц и только один синхросигнал в начале блока данных, а каждое слово в блоке состоит из 16 бит.

Для кодирования и декодирования сигналов M1 и M2 используется специализированная микросхема Harris 6408. Соответственно для декодирования сигнала M5 служит микросхема Harris 6409.

ОСНОВНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРА 80С32

Функции основной программы – управление сбором данных геофизическим прибором и поддержка связи с компьютером. Эта программа, так же как и загрузчик, написана на ассемблере для 80с32; исходный код содержится в файлах *ds02.asm*, *inc2.asm*, *header02.b*. Программа работает в двух основных режимах – режиме ядра (*kernel mode*) и режиме сбора данных (*acquisition mode*). В режиме ядра программа выполняет некоторые тестовые функции, а также посылает единичные команды геофизическому прибору. В режиме сбора данных программа периодически опрашивает геофизический прибор и отправляет декодированные данные на компьютер.

Подпрограммы для обработки сигналов M1 и M2 достаточно просты; по прерыванию *INT0* контроллер читает или записывает данные на определённые выходы микросхемы 6408. Однако передавать сигнал M5 оказалось сложнее: прерывания возникают настолько часто, что контроллер 80с32 не успевает их обрабатывать. В данном случае необходимо учитывать время выполнения каждой инструкции в машинных циклах и по возможности найти эквивалентные инструкции с наименьшим временем выполнения.

В связи с этим пришлось установить обработчик прерывания непосредственно в адресном пространстве векторов прерывания. Для сигнала M5 используется прерывание *INT1* (см. рис. 2), вектор которого располагается по адресу *013b*. Далее, по адресам *01bb*,

023b, *02bb* располагаются векторы прерывания для таймера 1, коммуникационного порта и таймера 2. Поскольку эти три вектора не используются в процедуре декодирования данных M5, можно установить процедуру обработки прерывания для M5 непосредственно по адресу вектора прерывания. Это позволяет «сэкономить» инструкцию *jmp m5_int_handler*, требующую для выполнения два машинных цикла, что существенно при жёстких временных ограничениях. При частоте кварцевого резонатора 16 МГц прерывания возникают каждые 14 машинных циклов контроллера, а максимальное время выполнения обработчика прерывания составляет 13 циклов, т.е. контроллер успевает обработать прерывание.


Программа для компьютера, управляющая процессом в целом, была написана на языке *Tcl/Tk*. Несмотря на простоту, этот язык позволил реализовать все необходимые функции управления геофизическим прибором и отображения полученных данных в текстовом и графическом виде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в данной статье прибор успешно используется в повседневной работе. Помимо конкретного применения, он является удобным инструментом для изучения системы команд контроллеров 80с51, т.к. тестируемый код может быть напрямую загружен через последовательный порт компьютера без использования программатора (за счёт использования памяти VBRAM и совмещения сегментов кода и данных).

Накопленный в ходе конструирования данного прибора опыт позволил разработать и изготовить плату обработки данных на основе нейропроцессора NM6403 [4]. Это – более функциональный прибор, кодирующий и декодирующий данные программно, без использования специализированных микросхем.

ЛИТЕРАТУРА

1. MCS 51 Microcontroller family user's manual.
2. MVME 162 Embedded Controller User's Manual.
3. Debugging Package for Motorola 68K CISC CPUs User's Manual.
4. Гребенников А. Цифровая обработка сигнала с помощью процессора NM6403. Современная электроника. 2009. № 6. 

Выбор параметров и режимов работы МОП-транзисторов при схемотехническом моделировании аналоговых IP-компонентов

Часть 2. Методика начального схемотехнического моделирования

Олег Дворников, Виталий Гришков (г. Минск, Беларусь)

В предлагаемой статье сформулирована последовательность этапов схемотехнического моделирования, обеспечивающая оптимальный выбор параметров и режимов работы МОП-транзисторов в аналоговых IP-компонентах. Рассмотрены особенности описания и моделирования МОП-схем в редакторе Capture системы проектирования OrCAD.

Методика начального схемотехнического моделирования аналоговых МОП-схем

Для ускорения схемотехнического проектирования и параметрической оптимизации аналоговых схем на МОП-транзисторах целесообразно применять результаты моделирования, показывающие связь основных характеристик аналоговых схем с параметрами и режимом работы транзисторов. Для получения таких данных сформулирована последовательность этапов схемотехнического моделирования.

1. Для сравнения характеристик МОП-транзисторов с разным типом проводимости рекомендуется применять схему включения, аналогичную приведённой на рисунке 3 для редактора Capture системы проектирования OrCAD. Особенности этой схемы обусловлены возможностями редактора Capture, а именно: в редакторе автоматически соединяются узлы с одним и тем же псевдонимом (Vdn, Vgn, Vbn и др.), созданным с помощью

команды Place Net Alias; элементы E1 – E3 представляют собой источники напряжения, управляемые напряжением, с коэффициентом передачи, заданным параметром GAIN; в качестве источника напряжения V_{GSN} применён элемент VPULSE, позволяющий задавать как постоянное напряжение (DC=), так и переменное напряжение (AC=) для выполнения анализа в частотной области; напряжение источника V_{BSN} установлено с помощью глобального параметра (для этого в редакторе Capture использовано обозначение {Value} в качестве величины напряжения источника V_{BSN}), что позволяет одновременно проводить любой из видов анализа (DC-анализ, AC-анализ, TRAN-анализ) при нескольких значениях параметра Value [14].

Применение источников E1 – E3 с коэффициентом передачи, равным -1 (GAIN = -1), для задания режима работы р-канальных МОП-транзисторов позволяет одновременно отобразить на экране графического постпроцессора (PROBE или Pspice

simulator and Probe waveform viewer системы проектирования OrCAD) характеристики n- и р-канальных МОП-транзисторов в одинаковых режимах работы.

2. По касательным к кривым $\sqrt{I_D} = f(V_{GS})$ [15], полученным при различном напряжении V_{SB} диодного включения МОП-транзистора, необходимо определить пороговое напряжение V_{TH} для типовых значений V_{SB} , обычно равных $0, V_{DD}/2, V_{DD}$, где V_{DD} – величина напряжения питания схемы. Наиболее простым способом выполнения данного этапа схемотехнического моделирования является:

- изменение псевдонима Vdn на Vgn, Vdp на Vgp на выводах транзисторов M1n, M1p, что эквивалентно соединению между собой стока и затвора и, следовательно, диодному включению МОП-транзисторов;
- проведение анализа по постоянному току (DC-анализа) при линейном изменении величины источника напряжения V_{GSN} от 0 до 1 или 2 В и нескольких значениях параметра Value, например, Value = 0, 1, 2;
- построение с помощью PROBE графической зависимости $\sqrt{I_D} = f(V_{GS})$ (в соответствии с правилами PROBE для вычисления квадратного корня из тока стока транзистора M1n необходимо на оси Y отобразить переменную SQRT(ID(M1n));
- определение координат двух точек ($\sqrt{I_{D1}}, V_{GS1}$) и ($\sqrt{I_{D2}}, V_{GS2}$) на линейном участке кривой (см. рис. 4), которому обычно соответствует ток стока в диапазоне от 1 до 10 мкА;
- расчёт порогового напряжения [15]:

$$V_{TH} = \frac{V_{GS1} \sqrt{I_{D2}} - V_{GS2} \sqrt{I_{D1}}}{\sqrt{I_{D2}} - \sqrt{I_{D1}}} \quad (43)$$

Результаты моделирования (см. рис. 4 и 5) здесь и далее получены для BSIM3-моделей транзисторов, формируемых с помощью технологического маршрута изготовления

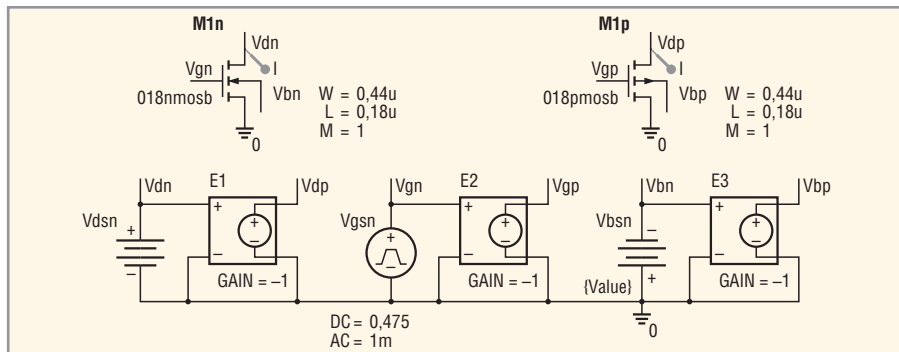


Рис. 3. Схема включения КМОП-транзисторов для сравнительного моделирования ВАХ в редакторе Capture системы проектирования OrCAD

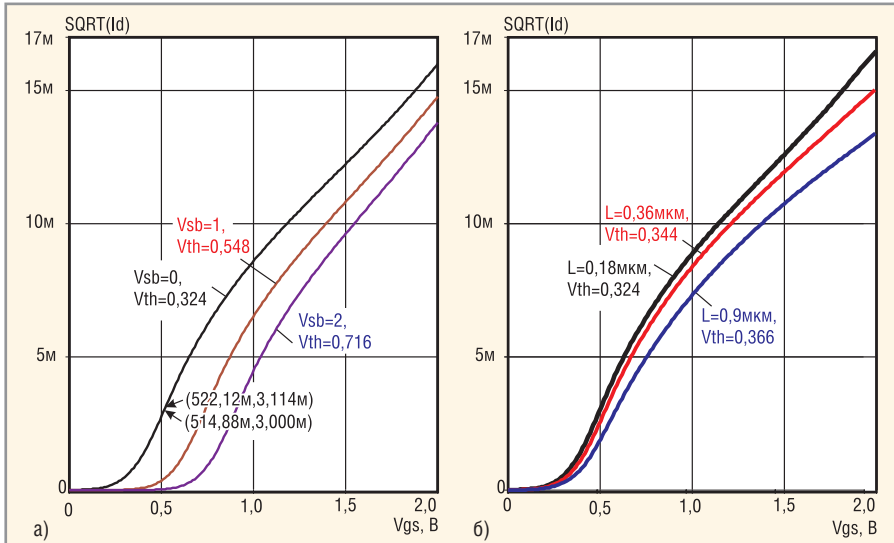


Рис. 4. Зависимость квадратного корня из тока стока SQRT(ID) от напряжения затвор-исток VGS n-канального МОП-транзистора с шириной затвора W = 2 мкм в диодном включении

- а) при длине затвора L = 0,18 мкм и различном напряжении исток-подложка VSB;
- б) при VSB = 0 и различной длине затвора L

КМОП-микросхем с минимальной проектной нормой 0,18 мкм [5]. Стрелки на рисунках указывают точки кривых, для которых зарегистрированы координаты.

На основании рисунков 4 и 5 можно сделать вывод о том, что при определении порогового напряжения VTH с помощью соотношения (43) следует обращать особое внимание на правильный выбор линейного участка зависимости $\sqrt{I_D} = f(V_{GS})$, поскольку при малых VGS на вид ВАХ влияет режим слабой инверсии, а при больших – насыщение скорости носителей заряда и сопротивления полупроводниковых областей стока и истока.

Численные значения VTH для различных длин затвора и напряжений VSB целесообразно использовать при аналитических («ручных») расчётах и выборе необходимого режима работы МОП-каскадов при моделировании.

- Оценим максимальный ток стока, при котором МОП-транзисторы работают в подпороговой области с большим отношением gm/ID, для чего по зависимости ID = f(VGS) (см. рис. 5) определим параметр ID0W = ID при VGS = VTH. Как видно из рисунка 5, величина ID0W приблизительно одинакова для кривых с различным напряжением VSB, что соответствует (10) и подтверждает корректность методик идентификации VTH, ID0W. При необходимости ID0W можно повысить путём увеличения W/L.

Известно, что для нахождения производной от переменной y по переменной x, т.е. dy/dx, в графическом пост-

процессоре PROBE необходимо на горизонтальной оси отобразить переменную x, а на вертикальной оси – D(y) [14]. Таким образом, для расчёта отношения gm/ID рекомендуется выполнить DC-анализ МОП-транзистора в схеме с общим истоком (см. рис. 3), вывести на ось x переменную V_Vgsn, а на ось y – D(ID(M1n))/ID(M1n). Результаты моделирования с упрощёнными обозначениями переменных на осях приведены на рисунке 6. Максимальное значение gm/ID приблизительно равно 32 и уменьшается до 2 в режиме сильной инверсии.

- Для обеспечения воспроизводимого режима работы в режиме сильной инверсии при предварительных расчётах и моделировании следует выбирать напряжение на затворе из условия $V_{GS} \geq 1,3V_{TH}$, для которого вполне моделирование выходной ВАХ в схеме с общим истоком (см. рис. 7).

По виду графиков на рисунке 7 можно сделать вывод о том, что напряжение сток-исток МОП-транзистора с минимальной длиной затвора L = 0,18 мкм не должно превышать 1,5 В, а для обеспечения работы в области насыщения ВАХ достаточно выполнение условия $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$. К сожалению, на величину малосигнального выходного сопротивления (см. рис. 8) короткоканальных транзисторов оказывает влияние ряд эффектов [9], обуславливающих сильную зависимость выходного сопротивления от напряжения сток-исток.

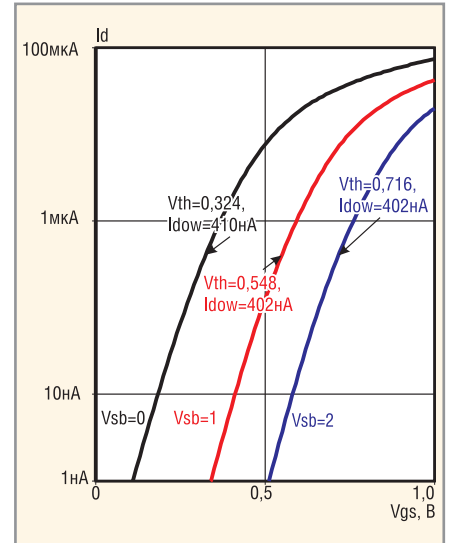


Рис. 5. Зависимость тока стока ID от напряжения затвор-исток VGS n-канального МОП-транзистора с W/L = 2 мкм/0,18 мкм в диодном включении при различном напряжении исток-подложка VSB

- Приведённая на рисунке 8 зависимость получена в PROBE с помощью дифференцирования результатов, показанных на рисунке 7а, а именно путём отображения на оси x переменной V_Vdsn, а на оси y – 1/D(ID(M1n)).
- Для расчёта максимального коэффициента усиления KMAX по соотношению (34) рекомендуется выполнить моделирование зависимостей ID = f(VGS) двух одинаковых МОП-транзисторов с разным напряжением сток-исток, например, по схеме, приведённой на рисунке 9. Напряжение сток-исток транзистора M1n на рисунке 9 задаёт источник VDSN, величина которого равна глобальному параметру ampl. Напряжение сток-исток

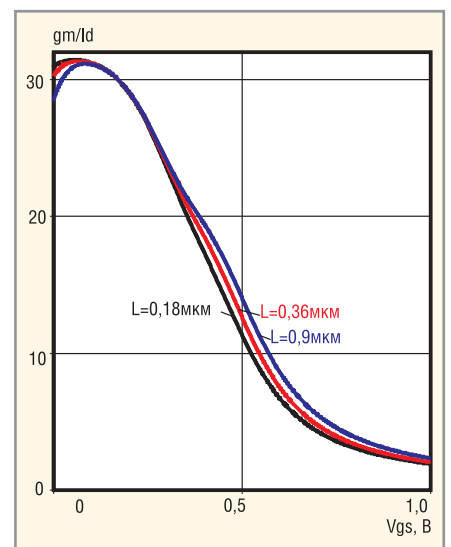


Рис. 6. Зависимость отношения gm/ID от напряжения затвор-исток VGS n-канального МОП-транзистора с шириной затвора W = 2 мкм при VSB = 0, VDS = 1 В и различной длине затвора

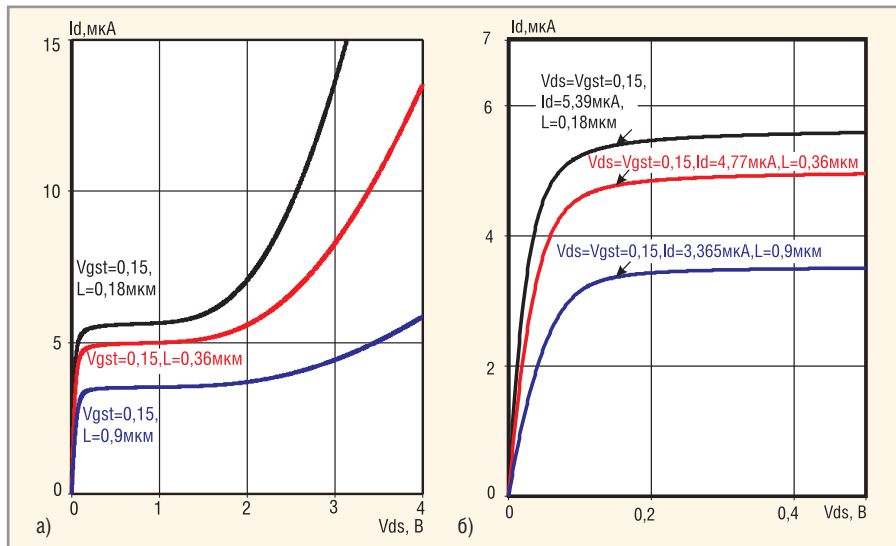


Рис. 7. Зависимость тока стока I_D от напряжения сток-исток V_{DS} n -канального МОП-транзистора с шириной затвора $W = 2$ мкм при $V_{BS} = 0$, различной длине затвора и одинаковом превышении порогового напряжения $V_{gst} \equiv V_{GS} - V_{TH} = 0,15$ В

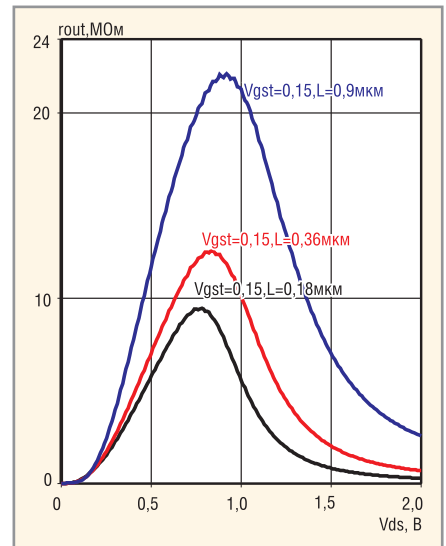


Рис. 8. Зависимость выходного малосигнального сопротивления r_{OUT} от напряжения сток-исток V_{DS} n -канального МОП-транзистора с шириной затвора $W = 2$ мкм при $V_{BS} = 0$, различной длине затвора и одинаковом превышении порогового напряжения $V_{gst} \equiv V_{GS} - V_{TH} = 0,15$ В

$M2n$ устанавливает источник напряжения V_{DSN1} на уровне $ampl + 10$ мВ.

При одинаковом напряжении V_{GS} и малом приращении напряжения V_{DS} ток стока транзисторов в области насыщения ВАХ будет отличаться из-за влияния выходного малосигнального сопротивления, при этом справедливы соотношения

$$I_{DM2N} = I_{DM1N} + \frac{V_{DSM2N} - V_{DSM1N}}{r_{OUT}} \quad (44)$$

при $V_{GSM1N} = V_{GSM2N}$,

$$|K_{MAX}| \approx \frac{dI_{DM1N}}{dV_{GS}} \frac{V_{DSM2N} - V_{DSM1N}}{I_{DM2N} - I_{DM1N}} \quad (45)$$

Предложенная методика определения K_{MAX} реализована в графическом постпроцессоре с помощью отображения на оси x переменной V_Vgsn , а на оси y – $D(ID(M1n)) \cdot 10m / (ID(M2n) - ID(M1n))$. Результаты моделирования с упрощёнными обозначениями переменных на осях показаны на рисунках 10 и 11. Рост V_{DS} от 0,15 до 1 В приводит к увеличению K_{MAX} (см. рис. 10) при любом

V_{GS} для $L = 0,18$ мкм, что может быть объяснено увеличением выходного сопротивления r_{OUT} в диапазоне напряжений V_{DS} (см. рис. 8). В то же время зависимость $K_{MAX} = f(V_{GS})$ при изменении параметров L, V_{DS} в широком диапазоне значений имеет более сложный характер (см. рис. 11).

Несмотря на то что при $V_{DS} = 1$ В каскад с общим истоком имеет высокое усиление, такой режим не следует применять вследствие малого допустимого диапазона изменения напряжения (на основании рисунков 7 и 8 можно утверждать, что при $V_{DS} > 1,5$ В K_{MAX} значительно снижается). Таким образом, для прецизионных микросхем рекомендуется выбирать длинноканальные транзисторы, а минимальную величину $V_{GS} - V_{TH}$ и напряжение V_{DS} устанавливать ориентировочно в середине допустимого диапазона (для рассматриваемых транзисторов $V_{DS} \approx 0,7$ В).

6. При проектировании быстродействующих микросхем рекомендуется определить условия ($L, V_{GS} - V_{TH}$), при которых проявляются короткоканаль-

ные эффекты, а именно, граничная частота не зависит или слабо зависит от $V_{GS} - V_{TH}$. Для этого следует выполнить анализ в частотной области (АС-анализ) с одновременным изменением величины постоянного напряжения источника V_{GSN} , например, установив постоянную составляющую источника с помощью глобального параметра $DC = \{ampl\}$ и изменяя при параметрическом анализе величину параметра $ampl$ от 0,3 В до 1 В с шагом 0,05 В. Затем на ось Y графического постпроцессора следует вывести от-

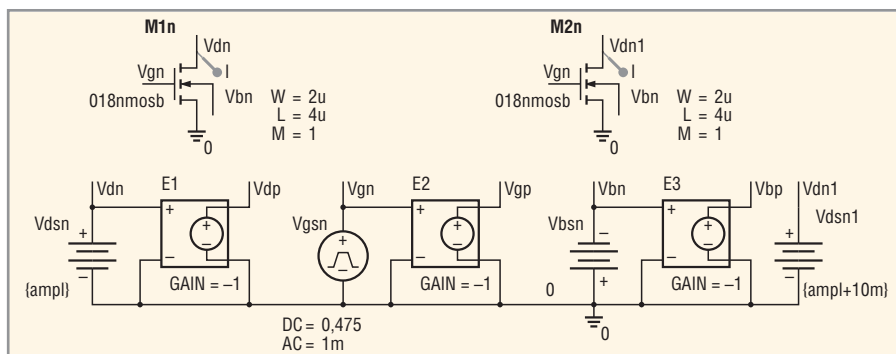


Рис. 9. Схема включения МОП-транзисторов для расчёта K_{MAX}

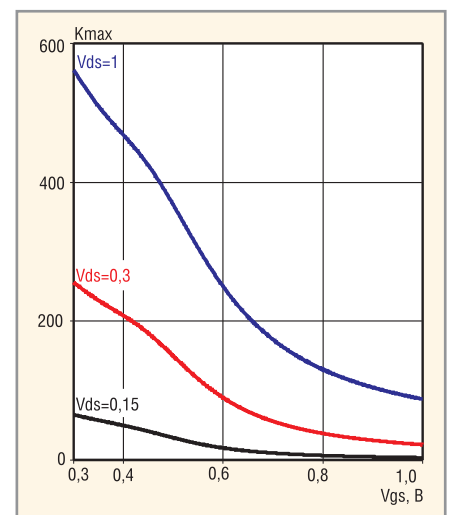


Рис. 10. Зависимость максимального коэффициента усиления в схеме с общим истоком K_{MAX} от напряжения затвор-исток V_{GS} для n -канальных МОП-транзисторов с отношением $W/L = 2$ мкм/0,18 мкм при $V_{BS} = 0$ и различном V_{DS}

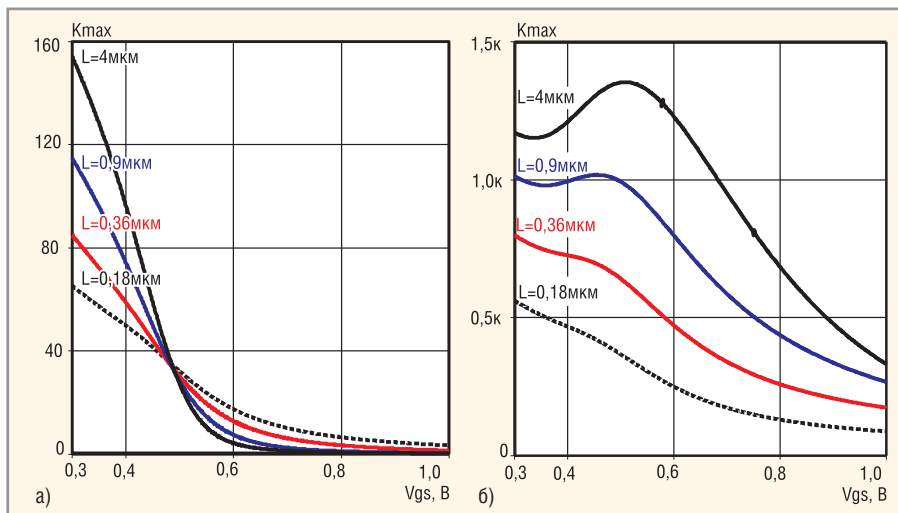


Рис. 11. Зависимость максимального коэффициента усиления в схеме с общим истоком K_{MAX} от напряжения затвор-исток V_{GS} для n-канальных МОП-транзисторов с шириной затвора $W = 2$ мкм при $V_{\text{BS}} = 0$ и различной длине затвора
а) $V_{\text{DS}} = 0,15$ В, б) $V_{\text{DS}} = 1$ В

ношение тока стока к току затвора и определить частоту, на которой это отношение равно единице (см. рис. 12).

Результаты моделирования граничной частоты показаны на рисунке 13. В n-канальных МОП-транзисторах с длиной затвора от 0,18 до 0,9 мкм слабое изменение граничной частоты (см. рис. 13а) нас-

тупает при $V_{\text{GS}} > 0,6$ В и V_{DS} во всём допустимом диапазоне от 0,15 до 1 В. При $L = 4$ мкм и $V_{\text{DS}} = 1$ В участков слабого изменения или постоянной величины f_T не выявлено (рисунок 13б), следовательно, поведение в таких условиях идентично длинноканальному МОП-транзистору. Незначительное изменение f_T при $L = 4$ мкм

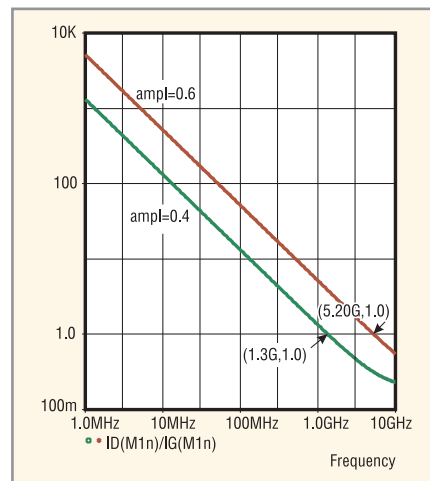


Рис. 12. Результаты АС-анализа для определения f_T в графическом постпроцессоре PROBE при разной величине постоянного напряжения затвора, задаваемом параметром *ampl*

и $V_{\text{DS}} = 0,15$ В, скорее всего, объясняется работой транзистора в линейной области ВАХ.

Граничная частота прямо пропорциональна крутизне, поэтому требуемое сочетание L и $V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}}$ целесообразно выбирать на начальном участке слабого изменения зависимости $g_m = f(V_{\text{GS}}, L)$ (см. рис. 14),

ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЕ



ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» ПРИГЛАШАЕТ К СОТРУДНИЧЕСТВУ И ОСУЩЕСТВЛЯЕТ:

поставку

электронных компонентов в качестве второго поставщика (номенклатура порядка 400 тыс. наименований более 60 зарубежных производителей) при сотрудничестве с группой компаний ПРОСОФТ

производство

промышленных и встраиваемых компьютеров (в форматах Compact PCI, VME, EPIC, 3,5", PC/104, MicroPC, AT96, PICMG, Mini-ITX, ATX), плат для монтажа на DIN-рейку, а также каркасов, шлейфов, кабелей и аксессуаров, предназначенных для работы в жёстких условиях эксплуатации с военной приёмкой

разработку

программных и аппаратных средств по техническому заданию заказчика под контролем военного представительства

контрактную сборку

изделий по конструкторской документации заказчика, включая поставку печатных плат, поверхностный монтаж и тестирование электронных модулей, изготовление механических деталей корпусов и передних панелей под контролем военного представительства

Производственное высокоавтоматизированное оборудование для поверхностного монтажа электронных модулей ЗАО «НПФ «Доломант» соответствует уровню требований мировых производителей. Оборудование адаптировано к использованию бессвинцовой технологии, позволяет производить автоматическую разбраковку и рентгеновский контроль качества пайки.

ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

имеет лицензии на разработку и производство электронных средств для вооружения и военной техники и атомных электростанций, свидетельство об аттестации второго поставщика, а также систему менеджмента качества, сертифицированную в системе «Военный регистр» на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 15.002.

117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108
Тел./факс: (495) 232-20-33
E-mail: info@dolomant.ru
Web: www.dolomant.ru

Реклама

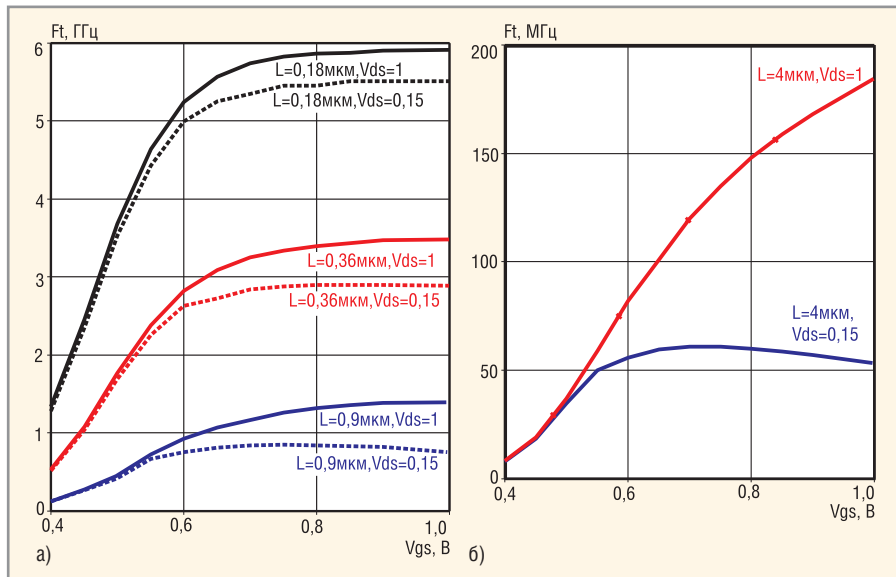


Рис. 13. Зависимость граничной частоты усиления f_T от напряжения затвор-исток V_{GS} для n-канального МОП-транзистора с шириной затвора $W = 2$ мкм при $V_{DS} = 0$, различной длине затвора и напряжения V_{DS}

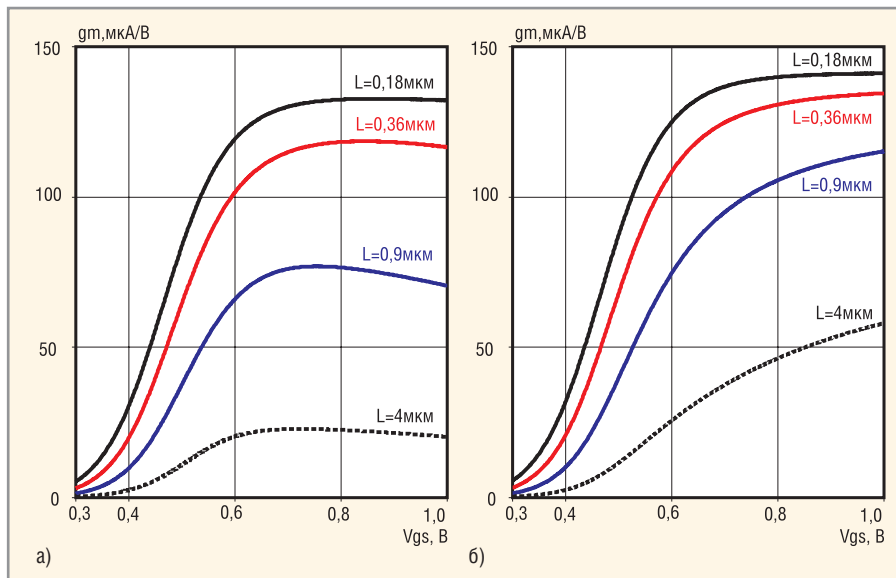


Рис. 14. Зависимость крутизны g_m от напряжения затвор-исток V_{GS} n-канального МОП-транзистора с шириной затвора $W = 2$ мкм при $V_{DS} = 0$ и различной длине затвора
а) $V_{DS} = 0,15$ В, б) $V_{DS} = 1$ В

которую получить при моделировании значительно проще, чем $f_T = f(V_{GS}, L)$.

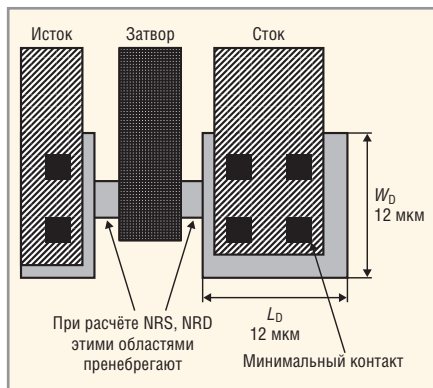


Рис. 15. Упрощённый чертёж топологии МОП-транзистора для расчёта параметров NRS, NRD

ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ МОП-СХЕМ В РЕДАКТОРЕ CAPTURE СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ORCAD

В описании МОП-транзисторов в редакторе Capture системы проектирования OrCAD необходимо задать параметры AS, AD (площадь истока, стока), PS, PD (периметр истока, стока), NRS, NRD (коэффициент формы истока, стока, описываемый числом квадратов). При известной величине коэффициента формы, сопротивления полупроводниковых областей истока RS и стока RD рассчитываются по соотношениям $RS = RSH \times NRS$, $RD = RSH \times NRD$, где RSH – удельное сопротивление полупроводниковой

области с размерностью Ом/квadrat. Определение параметров AS, AD, PS, PD по топологии транзистора не вызывает затруднений. Параметры NRS, NRD приблизительно рассчитывают делением длины полупроводниковой области в направлении протекания тока на её ширину. Так, для МОП-транзистора, приведённого на рисунке 15, $NRD = L_D/W_D = 1$, $NRS = L_S/W_S = 0,5$.

Для более точного определения NRS, NRD необходимо учитывать изменение направления протекания тока в области контакта металла с истоком и стоком. При этом для одного типового минимального контакта к полупроводниковой области коэффициент формы составит приблизительно 0,3 [16]. В этом случае параметры NRS, NRD целесообразно рассчитать как последовательное и параллельное соединение минимальных контактов, и для рисунка 15 справедливо $NRS = 0,3/2 = 0,15$ и $NRD = 0,3 \times 2/2 = 0,3$.

К сожалению, приведённая методика не учитывает сопротивление контакта металл-полупроводник. Для уменьшения погрешности идентификации сопротивлений RS, RD рекомендуется разработать тестовую структуру, содержащую большое количество (обычно 100) последовательно соединённых металлом минимальных контактов к полупроводниковой области, при измерениях этой структуры определить сопротивление одного контакта, а параметры RS, RD рассчитывать как последовательное и параллельное соединение минимальных контактов с экспериментально установленным значением сопротивления.

Иногда при моделировании МОП-схем возникают проблемы со скоростью расчётов и нахождением производных в графическом постпроцессоре PROBE. Некоторые из проблем можно устранить путём уменьшения относительной (RELTOL) и абсолютной (ABSTOL, VNTOL) погрешностей моделирования, увеличения приращения (Increment) в DC-анализе (см. рис. 16 и 17), замене нулевых напряжений источников на малые конечные величины (например, замене DC = 0 на DC = 10^{-6}).

При выполнении анализа схем в частотной области (AC-анализа) в большинстве Spice-подобных программ вначале рассчитывается рабочий режим по постоянному току, а затем элементы схем заменяются малосигналь-

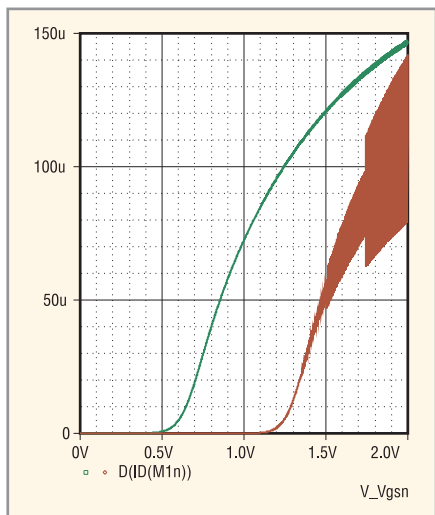


Рис. 16. Результаты расчёта крутизны по соотношению $g_m = dI_D/dV_{GS}$, полученные с помощью PROBE по результатам DC-анализа при Increment = 10^{-3} , RELTOL = 10^{-3}

ными эквивалентными схемами, параметры которых определены в зависимости от режима по постоянному току без учёта влияния на них переменного сигнала. В связи с этим, для уменьшения погрешности моделирования при АС-анализе рекомендуется устанавливать переменный сигнал минимально возможной величины.

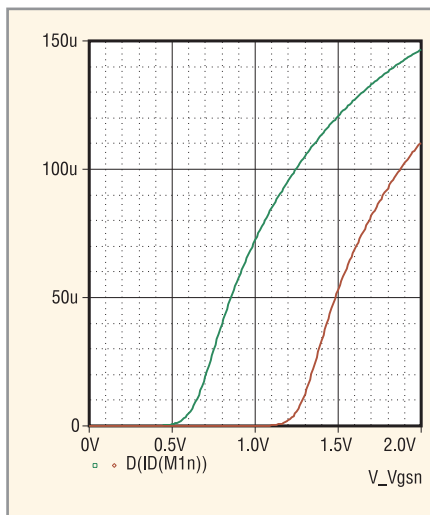


Рис. 17. Результаты расчёта крутизны по соотношению $g_m = dI_D/dV_{GS}$, полученные с помощью PROBE по результатам DC-анализа при Increment = 10^{-2} , RELTOL = 10^{-4}

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена комбинированная модель МОП-транзистора, адаптированная для выполнения упрощённых аналитических расчётов. На основе модели получены математические соотношения, описывающие влияние конструктивно-технологических параметров на граничную частоту, максимальный ко-

эффициент усиления в схеме с общим истоком, отношение крутизны к току стока для длинно- и короткоканальных МОП-транзисторов.

Предложена методика начального этапа схемотехнического моделирования аналоговых МОП-схем, которая апробирована на транзисторах с минимальной длиной затвора, равной 0,18 мкм.

Полученные математические соотношения и результаты моделирования, показывающие связь основных характеристик аналоговых схем с параметрами и режимом работы МОП-транзисторов, целесообразно использовать для ускорения схемотехнического моделирования и параметрической оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

14. Разевиг В.Д. Система проектирования OrCAD 9.2. Солон-Р, 2003.
15. Дворников О. Методы идентификации параметров моделей интегральных транзисторов. Часть 4. Идентификация параметров модели Шихмана-Ходжеса полевого транзистора с p-n-переходом. Современная электроника. 2009. № 8.
16. Березин А.С. Технология и конструирование интегральных микросхем: Учебное пособие для вузов. Радио и связь, 1983. ©



Платы видеозахвата стандарта PCI Express®

Весь спектр видеоинтерфейсов!

Gigabit Ethernet для видео	IEEE 1394b	Power over Camera Link	Аналоговый интерфейс
			
»» PCIe-GIE62	»» PCIe-FIW64	»» PCIe-CPL64	»» PCIe-RTV24
2-канальная плата Gigabit Ethernet Vision с цифровыми входами-выходами	4-канальная PCI Express плата видеозахвата стандарта IEEE1394b	2-канальная PCI Express плата видеозахвата стандарта PoCL	4-канальная PCI Express плата видеозахвата реального времени

PCI Express®: пропускная способность больше, скорости выше ...

Официальный дистрибьютор компании ADLINK в России, странах СНГ и Балтии



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

Современные методы функциональной верификации цифровых HDL-проектов: методология ABV, библиотеки OVL и QVL

Андрей Лохов (Москва)

В статье описана технология введения в цифровой проект формальной модели на основе ассертов, что позволяет формализовать процесс оценки качества созданного теста, ранее выполняемого интуитивно.

В процессе развития методов, применяемых при проектировании цифровых систем, ситуация развивалась следующим образом. Сначала разработчики использовали только схемотехнику и проектировали цифровые блоки из элементарных вентилях, накапливая библиотеки отработанных блоков. Затем, с ростом количества элементарных вентилях, задействованных в проекте, постепенно произошёл качественный переход от схемотехники к языкам описания аппаратуры – HDL (Hardware Description Language). В настоящее время необходимость применения HDL-языков не вызывает сомнений. К маршруту проектирования, состоящему из основных этапов – создание HDL, моделирование и верификация, синтез, размещение и трассировка, – по мере необходимости добавляются новые этапы.

Однако с дальнейшим ростом объёма и функциональной сложности проектов время, требуемое на верификацию, увеличивается, доходя в отдельных случаях до 90% и более от всего времени разработки проекта, и всё чаще возникают проекты, в которых «стандартный» маршрут просто не работает. Например, функциональная сложность проекта может возрасти настолько, что команда инженеров по верификации не сможет предусмотреть все потенциальные проблемы и их верифицировать. Как следствие – законченный проект будет содержать функциональные ошибки.

Типичным и наиболее известным примером является ошибка, присутствовавшая в одном из первых процессоров серии Pentium фирмы Intel. Выход в продажу процессора, содержащего ошибку, чуть не привёл Intel к банкротству. Для решения новых проблем потребовалось усовершенствовать

«классический» маршрут проектирования путём добавления новых подходов и концепций.

В данной статье будут рассмотрены следующие технологии, методологии, подходы и концепции:

- методология ABV (Assertion Based Verification – верификация, основанная на ассертах);
- библиотеки OVL и QVL.

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ – АССЕРТЫ

В настоящее время для верификации сложных цифровых проектов уже недостаточно просто создать HDL-описание поведения системы и приступить к написанию тестов для верификации, т.к. существует большая вероятность пропустить внутреннюю ошибку, которая либо не будет воспроизведена тестами, либо не приведёт к появлению неправильных данных на наблюдаемых сигналах.

Для «вылавливания» таких труднодиагностируемых ошибок ведущими разработчиками оборудования, такими как фирма Intel, наряду с функциональным HDL-описанием (HDL-моделью), разрабатывается формальная модель. Наиболее популярными инструментами описания формальной модели являются языки SystemVerilog Assertions и PSL – Property Specification Language. Оба языка реализуют схожую идеологию ассертов (от англ. *assertion* – утверждение), описывающих правила работы сигналов.

Основная идея методологии ABV заключается в том, чтобы формализовать информацию (знания о работе проекта), которой раньше владел только разработчик, и использовать её при моделировании в автоматическом режиме.

Для примера рассмотрим буфер FIFO. Текст тестбенча буфера на язы-

ке SystemVerilog может выглядеть так:

```
module fifo_tb;
// ...
// device under test
- DUT
FIFO #(.DEPTH(31), .WIDTH(8)) DUT
(
.CLK(clock),
.RSTb(nReset),
.DATA(data),
.Q(q),
.WENb(nWrite),
.RENb(nRead),
.FULL(full),
.EMPTY(empty));
// ...
initial begin
//...
// Тестовые воздействия
// ...
end

//...
// Блок ассертов -
// проверка допустимости состояний буфера FIFO
//
property WriteFull;
@(posedge clock) !nWrite |-> full
!= 1;
endproperty
property ReadEmpty;
@(posedge clock) !nRead |-> empty
!= 1;
endproperty
assert property (WriteFull) else
$fdisplay(FD | 1, <%t: ASSERT:
Writing full FIFO!",
$realtime);
assert property (ReadEmpty) else
$fdisplay(FD | 1, <%t: ASSERT:
Reading empty FIFO!",
$realtime);
//
// Конец блока ассертов
endmodule
```

При «традиционном» подходе блок ассертов, показанный выше, не описывается в проекте, и менеджер по верифика-

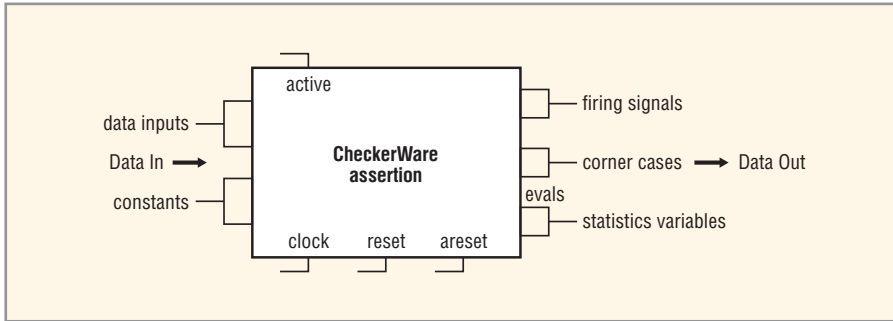


Рис. 1. Условное представление библиотечного элемента

ции должен либо проверять вручную требуемые ограничения (запись при выполнении или чтение из пустого буфера) путём наблюдения за диаграммами сигналов, либо написать дополнительный блок, который будет автоматически отслеживать соблюдение условия.

Применяя методологию ABV, разработчик проекта рядом с вхождением буфера формулирует дополнительные знания, которые раньше оставались не документированными, а именно, вставляет блок ассертов, который означает, что в процессе моделирования на каждом такте синхросигнала *clk* должно отслеживаться условие отсутствия выхода за рамки ограничений. При этом разработчик может задать способ реакции на нарушение заданного утверждения (ассерта): выдать сообщение, остановить моделирование и т.д. Обычно такие ассерты располагаются в важных (горячих) точках внутри проекта, например на стыке блоков.

Кроме описанной выше задачи контроля горячих точек проекта, ассерты позволяют выполнять ещё ряд задач и в целом являются достаточно мощным и гибким инструментом верификации, в задачи которого входит:

- отслеживание выполнения утверждений (*assert*);
- поиск заданных последовательностей (*sequence*);
- генерация тестовых последовательностей;
- сбор статистической информации, например, о покрытии (*CoverPoint*).

БИБЛИОТЕКИ АССЕРТОВ

Ассерты удобно использовать для контроля правильности работы проекта в т.н. «горячих точках». «Отслеживание» может заключаться не только в проверке конкретных сигналов и переменных, но и в накоплении дополнительной статистической информации, например, о полноте покрытия. Отчёт может быть представлен в виде одной или нескольких таблиц, например, при

помощи различных менеджеров верификации.

Однако при использовании ассертов возникает ряд неудобств, связанных в основном с необходимостью изучения новых языковых конструкций и подходов, а также с возможностью допустить ошибку при составлении ассертов. Для решения данных проблем были разработаны библиотеки ассертов, которые позволяют снизить требования к знанию языка ассертов (SystemVerilog Assertions или PSL), т.е. разработчику придётся изучить только основы работы с ассертами, не вникая в детали.

Существуют различные варианты реализации этих библиотек, как свободно распространяемых, например OVL, так и коммерческих, например, QVL и CheckerWare.

В общем случае библиотечный элемент можно представить в виде блока, показанного на рисунке 1. Как правило, библиотечный элемент содержит следующие элементы:

- **Data In** – входные порты:
 - *data inputs* – входные порты для подключения к сигналам и переменным, которые необходимо верифицировать;
 - *constants* – порты для задания параметров блока;
 - *active* – активация блока;
 - *clock* – синхросигнал;
 - *reset/areset* – сброс.
- **Data Out** – выходные порты:
 - *firing signals* – сигналы – индикаторы, которые «загораются», т.е. принимают значение true, при нарушении проверяемых блоком условий;
 - *corner cases* – счётчики, показывающие, сколько раз блок зафиксировал заданные пограничные условия;
 - *statistics variables* – счётчики, отображающие различную статистическую информацию.

БИБЛИОТЕКИ OVL И QVL

Библиотеки OVL (Accellera's Open Verification Library) и QVL (Questa

PADS® 9.0 PCB Design Solutions

Новые конфигурации

PADS LS - сквозной маршрут проектирования печатных плат с неограниченным числом слоев за 6000\$

PADS ES – возможности PADS LS, аналоговое моделирование, анализ целостности сигналов и тепловой анализ за 12000\$

ModelSim DE

Супер-верификация по цене настольного пакета.

Высокопроизводительное моделирование

Расширенные отладочные возможности

Верификация с ассертами

ЗАО «Megratec» - официальный дистрибьютор Mentor Graphics в России и СНГ
тел: (495) 787-59-40
E-mail: lokhov@megratec.ru
www.megratec.ru

Mentor Graphics

Реклама

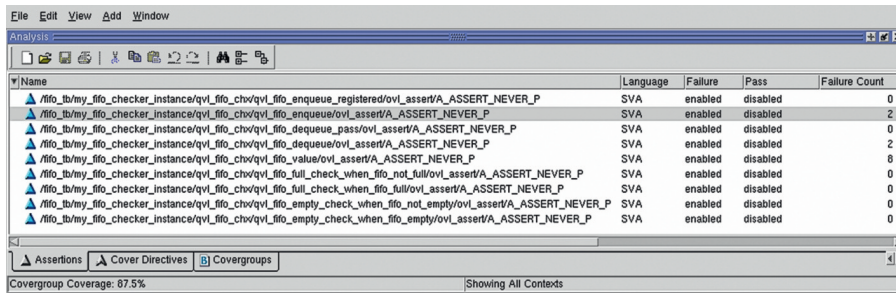


Рис. 2. Ассерты, порождённые проверочным блоком

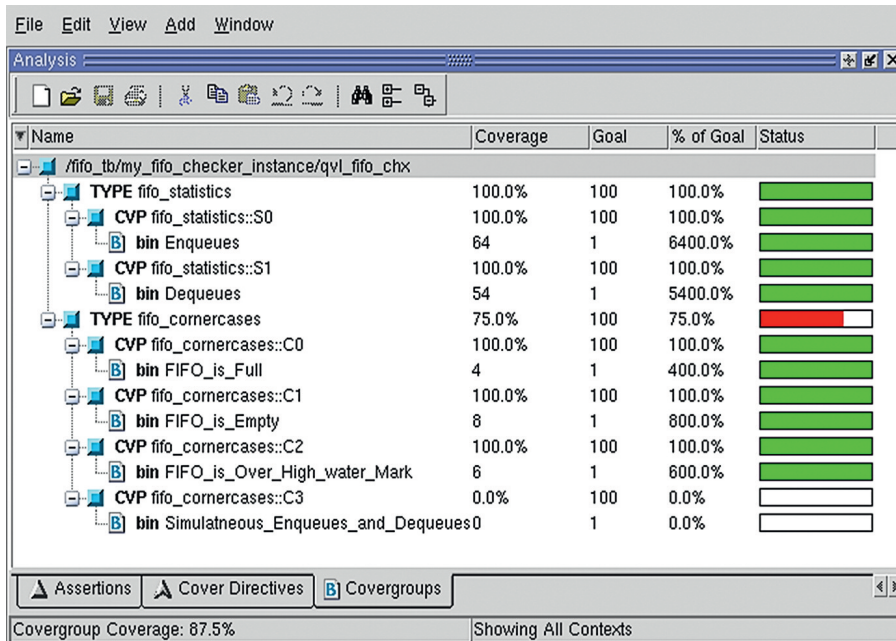


Рис. 3. Группы событий, порождённые проверочным блоком FIFO

Verification Checkers Library) – это набор библиотечных ассертов, которые проверяют заданные параметры проекта. Эти библиотечные элементы подключаются к проекту посредством единого унифицированного интерфейса и содержат как проверочные блоки для тестирования простых структур, таких как счётчики, буферы, константы и т.д., так и элементы для тестирования сложных протоколов, таких как протоколы шин AMBA, PCI, USB, интерфейсов DDR и т.д., далее – мониторы.

Проверочные блоки (checkers) являются компонентами модулей, цель которых – гарантировать, что определённые условия всегда выполняются. Блоки состоят из одного или нескольких *property* (свойство), *message* (сообщения), *severity* (серьезность) и *cover points* (счётчики событий).

Property – это атрибут проекта, который надо верифицировать ассертом. Существует два вида *property*: комбинаторный и временной. Комбинаторный *property* отслеживает взаимоотношения между сигналами в пределах одного такта. Временной *property* отслеживает взаимоотношения между

сигналами в разных тактах. Причём вполне возможно, что два отслеживаемых события будет разделять бесконечно большое количество тактов.

Message – это строка, которая будет выводиться в окно протокола работы системы в случае, если проверочный блок зафиксирует нарушение.

Параметр *severity* задаёт способ реакции на нарушение, например, остановить моделирование или только вывести сообщение и т.д.

Cover points – это флаги, счётчики или переменные, которые показывают, сколько раз произошло интересное событие. *Cover points*, содержащиеся в QVL-компонентах, можно разделить на два класса: статистические и крайние случаи. Статистические *cover points* измеряют активность различных частей компонента проверочного блока. Например, количество тактов, в которых выполнялось измерение.

Флаги крайних случаев отслеживают пограничные состояния. Это могут быть редкие или необычные состояния, «сложно достижимые» состояния или различные нетипичные состояния контролируемого модуля. «Правиль-

ный» испытательный трассировщик должен покрывать все эти состояния, т.к. они являются типичными источниками ошибок. Для примера рассмотрим буфер FIFO:

```

`include «std_ovl_defines.h»
`include «std_qvl_defines.h»
module fifo_tb;
// ...
// device under test
- DUT
FIFO #(.DEPTH(31), .WIDTH(8)) DUT
(
.CLK(clock),
.RSTb(nReset),
.DATA(data),
.Q(q),
.WENb(nWrite),
.RENb(nRead),
.FULL(full),
.EMPTY(empty));
// ...
initial begin
// ...
// Тестовые воздействия
// ...
end
// ...
// Проверка qvl_fifo
//
qvl_fifo #(
.severity_level(`QVL_ERROR),
.property_type(`QVL_ASSERT),
.msg("QVL_VIOLATION : «),
.coverage_level(`QVL_COVER_NONE),
.depth(31),
.width(8),
.pass(0),
.registered(0),
.high_water(0),
.full_check(0),
.empty_check(1),
.value_check(1),
.latency(0),
.preload_count(0))
my_fifo_checker_instance(
.clk(clock),
.reset_n(nReset),
.active(nReset),
.enq(~nWrite),
.deq(~nRead),
.full(full),
.empty(empty),
.enq_data(data),
.deq_data(q),
.preload(data_preload)
);
endmodule

```

Для проверки правильности работы этого буфера, помимо вставки в проект самого элемента, необходимо добавить экземпляр проверочного блока FIFO из библиотеки QVL – *qvl_fifo*. В такой конфигурации экземпляр *my_fifo_checker_instance* будет отслеживать критически важные события и в окне протокола работы выдавать сообщения типа:

```
? OVL_ERROR : ASSERT_NEVER :
QVL_VIOLATION : Dequeued FIFO
value did not equal the corre-
sponding enqueued value. : Test
expression is not FALSE : sever-
ity 1 : time 2450 ns :
fifo_tb.my_fifo_checker_in-
stance.qvl_fifo_chx.qvl_fifo_valu
e.ovl_error_t
```

Как видно из приведённого выше примера вывода диагностики, проверочные блоки не только проверяют правильность входных и выходных сигналов, но и контролируют сложное функциональное поведение элемента, например, эквивалентность записанных и считанных данных. Принципиальное отличие библиотеки QVL от

OVL заключается в наличии в QVL т.н. мониторов, т.е. элементов для диагностики таких сложных устройств, как шины PCI или AMBA, интерфейс USB и т.д.

Для удобного анализа всех статистических данных можно воспользоваться средствами анализа ассертов, сводящими все ассерты в таблицы. Например, на рисунке 2 показана такая таблица, из которой видно, что событие *qvl_fifo_enqueue*, т.е. попытка записи в полный буфер, возникало два раза, событие *qvl_fifo_dequeue*, т.е. попытка чтения из пустого буфера, возникло два раза, и, наконец, событие *qvl_fifo_value*, т.е. прочитанное значение из буфера не соответствует ожидаемому, возникало восемь раз.

Механизм ассертов позволяет описывать и выполнять достаточно сложную аналитику в автоматическом режиме. Например, проверочный блок FIFO при помощи ассертов формирует аналитическую структуру, показанную на рисунке 2. При этом разработчик тестов может, основываясь на результатах анализа, оценить, насколько полон созданный им тест. Например, на рисунке 3 видно, что один «крайний» случай не

был проверен, а именно – *Simultaneous_Enqueue_and_Dequeue* (одновременное чтение и запись данных), из чего можно сделать вывод, что существующие тесты требуют доработки.

Как видно из данного примера, введение в проект формальной модели на основе ассертов позволяет формализовать процесс оценки качества созданного теста, выполняемый ранее исключительно интуитивно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механизм ассертов предоставляет новые методы верификации, существенно повышающие производительность труда разработчиков тестов для цифровых устройств. В данной статье демонстрируются преимущества только одного из них, а именно возможность использования ассертов и библиотек ассертов для контроля «горячих» точек проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Questa SV/AFV User's Manual.
2. Questa Verification Library Checkers Data Book.
3. Questa Verification Library Monitors Data Book.

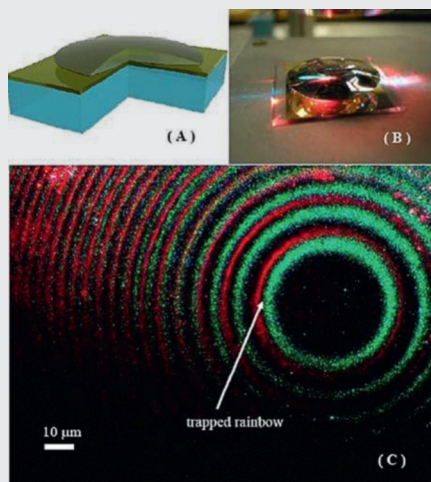


Новости мира News of the World Новости мира

Учёные поймали радугу

Оказывается, поймать радугу всё-таки возможно. Это сделано впервые с помощью простых линз, пластины стекла и золота, но не из праздного любопытства: техника может быть использована для хранения информации в виде света и развития оптических вычислений и телекоммуникаций. Оптические устройства обещают быть быстродействующими и более эффективными, чем нынешняя электроника, однако сложность представляет необходимость конвертирования сигналов из оптического вида в электрический и обратно. «Замедление» света или локализация в некотором пространстве может разрешить проблему с прямой обработкой электромагнитных волн.

В 2007 г. Ортвин Хесс (Ortwin Hess) из Университета Суррея (University of Surrey) в Гилфорде, Великобритания, вместе с коллегами предложил технологию заключения света в сужающемся волноводе, который является структурой, направляющей излучение по своей длине. В его состав входят метаматериалы. Идея состоит в том, что по мере сужения волновода компоненты света должны поочередно останавливаться во всё более узких точках, поскольку никакой компонент не мо-



жет пройти через открытое пространство, меньшее его длины волны. Таким образом и получается «пойманная радуга». Многочисленные модели показывают, что подобные «конусообразные» волноводы должны действовать, но до сих пор их изготовление из метаматериалов остаётся неразрешимой задачей. Однако Вера Смолянинова (Vera Smolyaninova) из Тьюсонского университета (Towson University) в Балтиморе совместно с другими исследователями использовала выпуклую линзу, чтобы создать требуемую структуру волновода и локализовать радугу.

Учёные покрыли одну из сторон линзы диаметром 4,5 мм золотой плёнкой толщиной 30 нм и поместили её на плоскую стеклянную пластину, также покрытую плёнкой из благородного металла, позолоченной стороной вниз. Если посмотреть на эту систему сбоку, то воздушное пространство между изогнутой поверхностью линзы и пластиной постепенно становится меньше вплоть до нулевой толщины в точке, где линза касается стекла, – практически тот же сужающийся волновод. Когда учёные направили в него многоволновое лазерное излучение, внутри сформировалась радуга. Она имела вид серии цветных колец при рассмотрении линзы сверху через микроскоп.

Зелёный свет с более короткой длиной волны оказался в точке пространства, слишком узкого для преодоления этим излучением. Красный свет с большей длиной волны был пойман в более широкой части волновода. Между ними расположились остальные цвета. По словам исследователей, тот факт, что столь комплексное явление удалось воспроизвести с помощью очень простой конфигурации, удивителен.

newsscientist.com

MathSpice – аналитический PSpice движок для OrCAD и MicroCAP

Часть 6. Расчёт цепей переменного тока в MathSpice

Олег Петраков (Москва)

Анализ цепей переменного тока наиболее эффективен, если есть возможность использовать аппарат комплексных чисел, преобразование Лапласа и преобразование Фурье. MSpice отлично справляется с такими задачами для линейных схем.

MSpice позволяет вводить комплексные числа непосредственно в схему OrCAD (Schematics) или MicroCAP и после получения аналитического решения переносить их в проект, что наглядно и удобно для визуального контроля ошибок ввода. При использовании метода Лапласа MSpice обеспечивает получение уравнений цепи и их решение в операторной форме, что достаточно для анализа цепей переменного тока. MSpice имеет Smart-директиву AV() и AVM() для перевода операторной функции в частотную область ($K(w) = AV(H(s)), |K(w)| = |AVM(H(s))|$). Это означает, что если мы имеем операторное решение, то задача для цепи переменного тока в принципе решена.

Активный полосовой фильтр на 1 МГц с ТОС ОУ

MSpice содержит встроенный справочник по поддерживаемым аналитическим моделям. При необходимости пояснить ход расчётов рисунок модели можно вывести на экран. Это очень удобно, так как схема рисуется в привычных УГО, как показано на рис. 1. Но вместо операционного усилителя используется схема замещения, показанная на рис. 2. Если вы передадите материалы колле-

гам и не покажете схему замещения, им будет непонятно происхождение некоторых переменных в выражениях. Разумеется, аналитические расчёты нужны не всем, а только тем, кто ищет первопричины или новые решения. График можно получить и в PSpice, а вот получить расчётные соотношения для синтеза можно только в MSpice.

Ранее реализация активных фильтров на частотах выше 1 МГц считалась неэкономичной. В настоящее время задача решается в лоб, с использованием операционного широкополосного усилителя с токовой обратной связью (ТОС ОУ).

Применение аналитической модели (рис. 2) позволяет получить верхнюю оценку показателей неидеальности ТОС ОУ, при которых возможна реализация требуемого фильтра. Вводим:

```
> restart: read(`F:/PMAPLE/ESolver.m`); with(MSpice): Devices:= [0, [TOP, AC1, 2]]: ESolve(Q, `op-PSpiceFiles/SCHEMATIC1/SCHEMATIC1.net`);
```

Система уравнений Кирхгофа для трансимпедансной модели ОУ:

$$H := \frac{Rt \cdot s \cdot C^2 (Rg + RF)}{s^3 C^2 Rg^2 Ct RF Rt + ((C^2 Rg^2 + 4 C^2 Rg Ct RF) Rt + C^2 Rg^2 RF) s^2 + ((-RF + 3 Rg) C^2 + 2 Ct RF) Rt + 4 C^2 RF Rg} s + 2 Rt + 2 RF$$

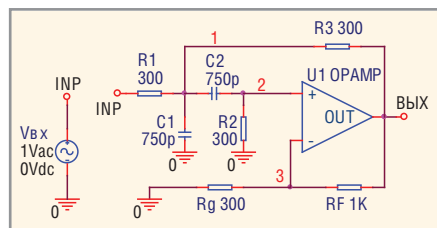


Рис. 1. Схема полосового фильтра на ТОС ОУ

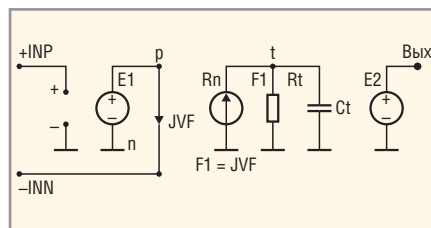


Рис. 2. AC1 модель операционного усилителя

$$\begin{aligned} -\frac{Vt1}{Rt} - JVF1U1 - Vt \cdot s \cdot Ct &= 0, \\ -\frac{V2}{R2} - (V2 - V1) \cdot s \cdot Ct &= 0, \\ (V2 - V1) \cdot s \cdot C2 + \frac{Vt1 - V1}{R3} - \frac{V1 - Vax}{R1} - \\ &- V1 \cdot s \cdot C1 = 0, \\ V3 &= -VF1U1 + V2. \end{aligned}$$

Входные токи управляемых источников:

$$\begin{aligned} JVF1U1 &= \frac{Vt1 - V2 + VF1U1}{RF} + \\ &+ \frac{-V2 + VF1U1}{Rg}. \end{aligned}$$

Ищем решения системы уравнений для $Vt1, V2, V1, V3$.

```
Заданы узлы: {VINP} Источники: [Vвх, VF1U1]
Решения V_NET: [Vp1, Vt1, VВЫХ, V2, V1, V3]
J_NET: [JVвх, JVF1U1, JR1, JC2, JRF, JR3, JRg, JR2, JC1, JRt, Jct, Jft]
```

Пусть для фильтра выполняются условия

```
> R1:=Rg: R2:=Rg: R3:=Rg: C1:=C2:
```

Тогда частотно-зависимый коэффициент передачи

```
> H:= VВЫХ/Vвх;
```

будет выглядеть так:

Для получения графика АЧХ вводим:

```
> Values(AC, RLCVI, []):
H:=evalf(H, 2);
HSF([H], f=1e5..1e7, "3)
semiACH$200 полосового фильтра на ТОС ОУ");
```

Вводим номиналы компонентов:

```
R1:=300: [300]
C2:=750e-12: [750p]
RF:=1e3: [1K]
R3:=300: [300]
Rg:=300: [300]
R2:=300: [300]
C1:=750e-12: [750p]
Rt:=10e6: [10MEG]
Ct:=1/(2*Pi*Ft):
Ft:=10e9: [10G]
AC источник: Vvx:=0: AC: Vvx:=1:
Pphase(degrees):=0:
E1_U1:=(V2*1):
DC источник: VF1U1:=0: AC:
VF1U1:=0:
F1_U1:=(JVf1U1*1):
```

Получаем числовое решение:

$$H:=9,8s / (0,8 \times 10^{-14} s^3 + 0,64 \times 10^{-6} s^2 - 0,34 s + 0,2 \times 10^8).$$

АЧХ полосового фильтра на ТОС ОУ показан на рис. 3.

Пассивный фильтр М-типа

Возможность вместо номиналов компонентов писать формулы позволяет проектировать весьма сложные фильтры и получать очень простые аналитические выражения для их расчёта. Теперь можно учитывать влияние нагрузки, активное сопротивление катушек и скин-эффект. Можно даже добавить магнитную связь между катушками. Если вы не переусердствуете, то решение будет найдено.

Для примера произведём расчёт нагруженного пассивного избирательно-го фильтра М-типа (рис. 4). Вводим:

```
> restart:with(plots):re-
ad(`F:/PMAPLE/ESolver.m`);with(MS
pice):
ESolve(L_N,`MF/RC-PSpiceFiles/SCH
EMATIC1/SCHEMATIC1.net`):
Имя_проекта:=`Полосовой фильтр
М-типа`:
```

Получаем систему уравнений Кирхгофа–Лапласа для цепи:

$$\frac{VOUT - V2}{sL2} - \frac{VOUT}{R2} - (VOUT - V1)sC1 = 0,$$

$$\frac{VOUT - V2}{sL2} - (V2 - V3)sC2 = 0,$$

$$(V2 - V3)sC2 - \frac{V3}{sL3} - V3sC3 = 0,$$

$$(VOUT - V1)sC1 - \frac{V1 - Vin}{sL1} = 0.$$

Ищем решения системы для $VOUT, V1, V2, V3$.

```
Заданы узлы: {VINP} Источники:
[Win]
Решения V_NET: [VOUT, V1, V2, V3]
J_NET: [JL1, JL3, JL2, JVin, JC3,
JR2, JC2, JC1]
> H:=simplify(VOUT/VINP):
> Values(AC,RLCVI, [ ]);
```

Вводим параметры компонентов:

```
L2 := (1/2) * (1-m^2) * L/m:
R2 := RL:
C2 := 2*m*C / (1-m^2):
C1 := 2*C/m:
L1 := (1/2) * m*L:
L3 := 2*L/m:
C3 := (1/2) * m*C:
AC источник: DC: Vin:=1: AC:
Vin:=1: Pphase(degrees):=0:
```

Получаем решение:

$$H:= \frac{2(-L^2C^2s^2 + L^2C^2s^4m^2 - 6s^2CL + 2s^2CL + 2s^2CLm^2 - 1 + m)sCRL}{(-12s^3C^2LRL - 7L^2C^2s^2m + 3L^2C^2s^4m^3 - 7s^2CLm + 3s^2CLm 3s^2CLm^3 - m + m^3 - 2sCRL - 2L^2C^3RLs^5 - s^6C^3L^3m + s^6C^3L^3m^3)}.$$

Вводим цифровые данные:

```
> L:=500e-6: C:=500e-12:
RL:=100e3: m:=12: Digits:=4:
> H:=H;
HSF([H], f=1e5..1e6, cat("2
semilog[H] ", Имя_проекта));
> PlotPZ(H, f, "6) М-фильтр.");
```

Получаем числовое решение для АЧХ:

$$H:= 0,001000(8,938 \times 10^{-24}s^4 + 7,050 \times 10^{-11}s^2 + 143)s / (2,681 \times 10^{-35}s^6 - 6,250 \times 10^{-30}s^5 + 3,188 \times 10^{-22} - 1,500 \times 10^{-16}s^3 + 1,275 \times 10^{-9}s^2 - 0,0001000s + 1716).$$

Кроме того, получаем график АЧХ (рис. 5), карту полюсов (рис. 6) и карту нулей (рис. 7) М-фильтра.

Расположение (годограф) всех корней операторной передаточной функции (рис. 8) найдём с помощью команды Rootlocus():

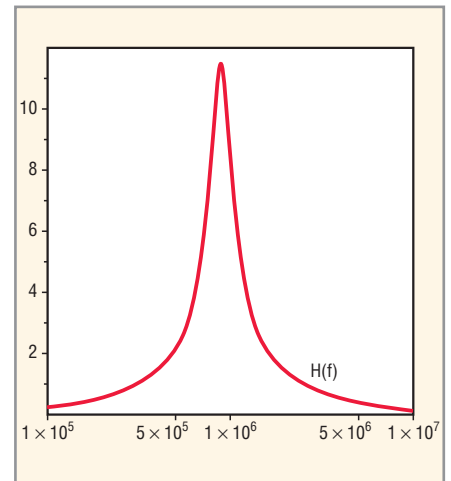


Рис. 3. АЧХ полосового фильтра на ТОС ОУ

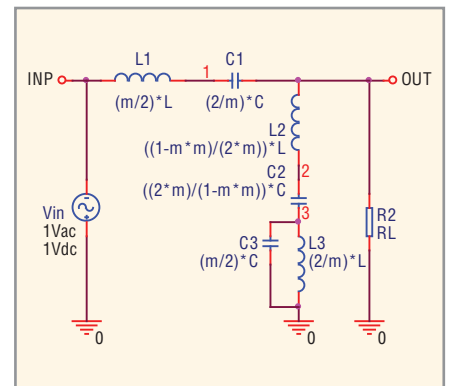


Рис. 4. Схема пассивного М-фильтра

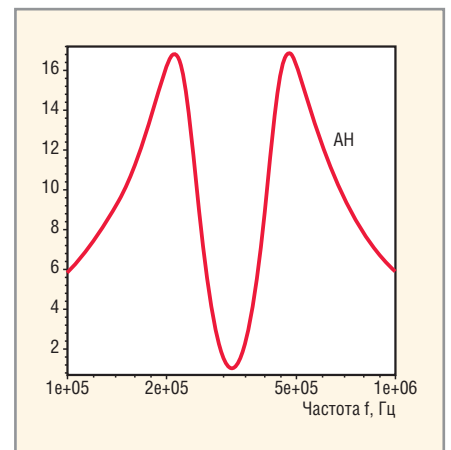


Рис. 5. АЧХ М-фильтра

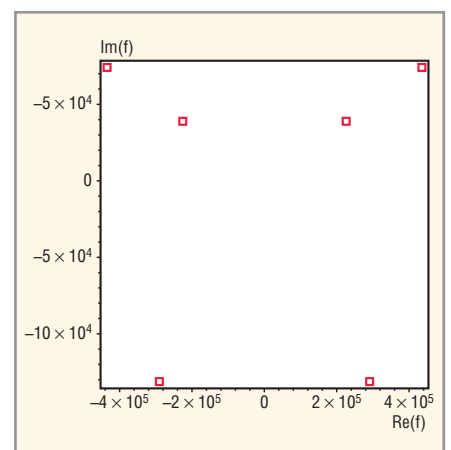


Рис. 6. М-фильтр. Карта полюсов

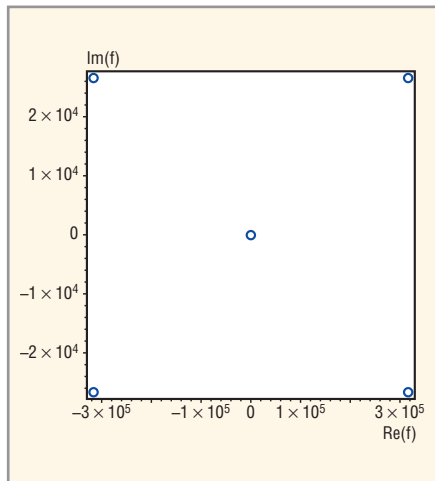


Рис. 7. М-фильтр. Карта полей

```
> rootlocus(H,s,-0.13..0.13,style=point,color=red,axes=normal);
```

Для получения передаточной функции и годографа М-фильтра в частотной области вводим:

```
> K:=AV(H,f); complex-plot(K,f=0..1e8,numpoints=1000);
```

и получаем числовое решение:

$$K:=0,0002I(1,430 \times 10^{-22}\pi f^4 - 2,820 \times 10^{-10}\pi f^2 + 143)\pi f / (-1,716 \times 10^{-33}\pi f^6 - 2,000 \times 10^{-28}/\pi^5 f^5 + 5,101 \times 10^{-21}\pi f^4 + 1,200 \times 10^{-15}I\pi^3 f^3 - 5,100 \times 10^{-9}\pi^2 f^2 - 0,000200I\pi f + 1716).$$

Частотный годограф М-фильтра показан на рис. 9.

ФИЛЬТР ТРАКТА УПЧ 465 КГЦ НА ЧЕТЫРЁХ СВЯЗАННЫХ КОНТУРАХ

Наверняка вы в первый раз увидите решение задачи для четырёх связанных контуров (рис. 10) без всяких допущений: задача невыполнима без MSpice. В принципе можно было бы найти полосу и выразить её через номиналы компонентов, но это выходит за рамки статьи. На сайте www.pspicelib.narod.ru вы можете скачать многие исходники и продолжить расчёты.

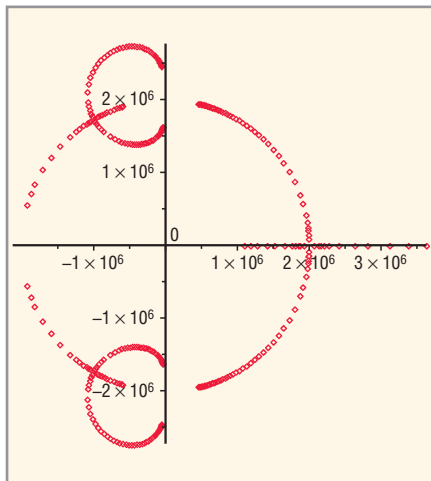


Рис. 8. Rootlocus М-фильтра

Считается, что время LC-фильтров прошло. Однако кварцевые и ПАВ-фильтры выдают слабый сигнал, который требует усиления. Когда речь идёт о передаче через фильтр десятков и сотен ватт, например, в радиопередающих устройствах и импульсных источниках питания, то расчёт LC-фильтров остаётся актуальным.

Система Киргофа–Лапласа для этого фильтра выглядит так:

$$\begin{aligned} & \frac{V2-V0_1}{s(L1_1 - K1\sqrt{L1_1 L2_1})} + \frac{VINP-V0_1}{s(L2_1 - K1\sqrt{L1_1 L2_1})} - \frac{V0_1}{sK1\sqrt{L1_1 L2_1}} = 0, \\ & \frac{VOUT-V0_2}{s(L1_2 - K2\sqrt{L1_2 L2_2})} + \frac{V4-V0_2}{s(L2_2 - K2\sqrt{L1_2 L2_2})} - \frac{V0_2}{sK2\sqrt{L1_2 L2_2}} = 0, \\ & \frac{VOUT}{R3} - VOUT s C3 - \frac{VOUT-V0_2}{s(L2_2 - K2\sqrt{L1_2 L2_2})} = 0, \end{aligned}$$

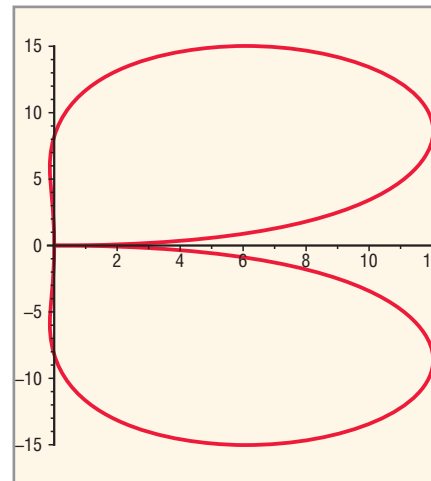


Рис. 9. Годограф М-фильтра

$$\begin{aligned} & -\frac{V4}{R8} - V4 s C4 - (V4-V2) s C5 - \frac{V4-V0_2}{s(L2_2 - K2\sqrt{L1_2 L2_2})} = 0, \\ & -\frac{VINP}{R1} - VINP s C1 + I1 - \frac{VINP-V0_1}{s(L2_1 - K1\sqrt{L1_1 L2_1})} = 0, \\ & (V4-V2) s C5 - \frac{V2}{R7} - V2 s C2 - \frac{V2-V0_1}{s(L1_1 - K1\sqrt{L1_1 L2_1})} = 0. \end{aligned}$$

Решение ищем для V0_1, V0_2, VOUT, V2, V4, VINP.

Вводим:

```
> restart:read(`F:/PMAPLE/ESolver.m`);with(MSpice):ESolve(EQ,`KK4.СКТ`);
Заданы узлы: {} Источники: [I1]
Решения V_NET: [V0_1, V0_2, VOUT, V2, V4, VINP]
J_NET: [J1, JC1, JC2, JC3, JC4, JC5, JR1, JR3, JR7, JR8, JK1, JK2, JL1[1], JL2[1], JL1[2], JL2[2]]
> OUT:=simplify(VOUT);
> Values(AC,PRN,[K1]):
VOUT:=simplify(VOUT);
```

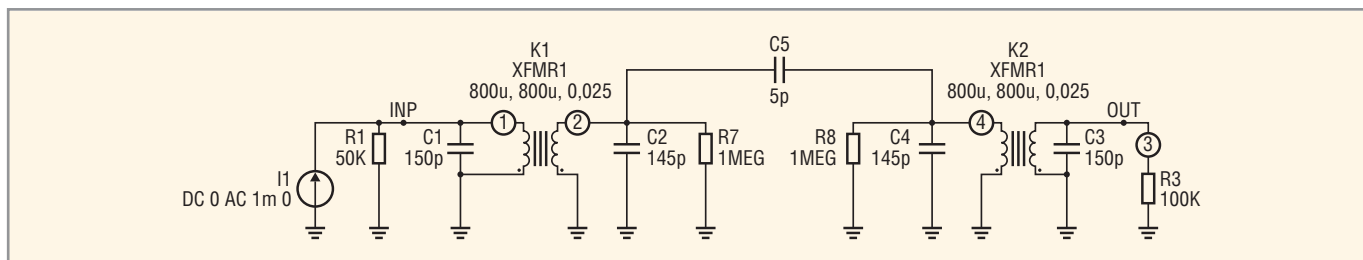


Рис. 10. Схема полосового фильтра на 465 кГц

Получаем решение:

$$VOUT = -1,2 \times 10^{30} s^3 K1 / (-4,1 \times 10^{44} s - 1,6 \times 10^{19} s^5 - 6,2 \times 10^5 s^7 - 9,4 \times 10^{13} s^6 - 1,3 \times 10^{32} s^3 + 3s^8 K1^2 - 7,5 \times 10^{39} s^2 - 1,3 \times 10^{27} s^4 - 3s^8 + 2,1 \times 10^{26} s^4 K1^2 + 2,0 \times 10^{35} K1^2 s^2 - 1,6 \times 10^{52} + 8,8 \times 10^{18} s^5 K1^2 + 4,7 \times 10^{13} s^6 K1^2 + 3,0 \times 10^{31} s^3 K1^2 + 6,6 \times 10^5 s^7 K1^2).$$

Построим график АЧХ. Для этого вводим:

```
> OUT:=evalf(abs(subs(s=I*2*Pi*f,
OUT))) :
plot([eval(OUT,K1=0.02),eval(OUT,
K1=0.03),eval(OUT,K1=0.05),eval
(OUT,K1=0.07)] ,
f=4.3e5..4.9e5,thickness=3,leg-
end=["K1=0.02","K1=0.03","K1=0.05
","K1=0.07"],
color=[black,red,blue,gold],label
s=["Частота f (Гц)","OUT"],
title="Рис. 11. АЧХ полосового
фильтра");
```

Этот график приведён на рис. 11.

РАБОТА С КОМПЛЕКСНЫМИ ЧИСЛАМИ

Комплексные числа позволяют строить простые математические модели цепей синусоидального тока. Однако традиционные методы работы с ними – хлопотливое дело

$$V1 := \frac{Z1Z4VIN2 + Z3Z2VIN1 + Z3Z4VIN1 + Z2Z4VIN1}{Z4Z3 + Z2Z3 + Z2Z4 + Z4Z1 + Z2Z1},$$

$$V4 := \frac{Z4(Z3VIN2 + Z1VIN2 + Z2VIN1)}{Z4Z3 + Z2Z3 + Z2Z4 + Z4Z1 + Z2Z1}.$$

Вводим номиналы компонентов, переопределяем операторную переменную s и указываем рабочую частоту $f = 1$ кГц:

```
> Values(AC,RLCVI,[]):
s:=I*2*Pi*f: f:=1000:
Z1 := 68+100*I:
Z2 := 15-56*I:
Z3 := -80*I:
Z4 := -634*I:
AC источник: VIN1:=0: AC:
VIN1:=2: Pphase(degrees):=30:
AC источник: VIN2:=0: AC:
VIN2:=3: Pphase(degrees):=45:
```

$$VIN1 = \sqrt{3} + 1,$$

$$VIN2 = \frac{3}{2}\sqrt{2} + \frac{3}{2}\sqrt{2}.$$

даже с таким калькулятором, как MathCAD. MSpice решает задачу радикально: комплексные числа вводятся непосредственно в электрическую схему. Это удобно, наглядно и понятно. Решение можно получить для любого узлового напряжения или тока ветви. На рис 12 дана схема, где все компоненты имеют комплексное сопротивление. Найдём напряжения $V1$ и $V4$. Получаем систему уравнений Киргофа для этой цепи:

$$\frac{VIN2 - V4}{Z2} - \frac{V4}{Z4} - \frac{V4 - V1}{Z3} = 0,$$

$$\frac{VIN1 - V1}{Z1} + \frac{V4 - V1}{Z3} = 0.$$

В качестве решения ищем $V1$ и $V4$. Вводим:

```
> restart:read('F:/PMAPLE/ES-
olver.m');with(MSpice):ESolve(Qwr,
'03.СКТ'):
Заданы узлы: {V2, V3} Источники:
[VIN1, VIN2]
Решения V_NET: [V1, V4]
J_NET: [JZ3, JZ4, JVIN1, JZ1,
JZ2, JVIN2]
> V1:=simplify(V1);
V4:=simplify(V4);
```

И получаем ответы:

Ищем численные решения для $V1$ и $V4$. Для этого вводим:

```
> V1:=evalf(V1);
V4:=evalf(V4);
V1:=0,5788331159 + 1,6305847151I,
V4:=1,444268180 + 1,71462788I.
```

Представим те же решения в полярной форме:

$$\text{polar}\left(|Z|, \arctan\left(\frac{\text{Im}(Z)}{\text{Re}(Z)}\right)\right),$$

или $\text{polar}(\text{модуль}, \text{фаза})$. Фаза будет представлена в радианах:

```
> V1:=evalf(convert(V1,polar));
V4:=evalf(convert(V4,polar));
```

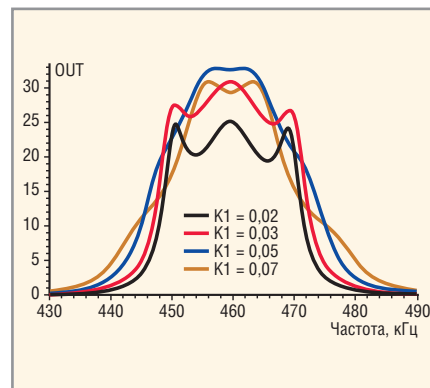


Рис. 11. АЧХ полосового фильтра

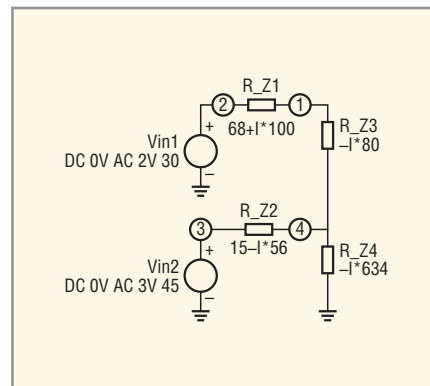


Рис. 12. Схема цепи переменного тока

$$V1 = \text{polar}(1,730275784, 1,229687448),$$

$$V4 = \text{polar}(2,241831302, 0,87077225297).$$

Если задача требует, то фазу из радиан можно перевести в градусы следующими командами:

```
> Pphase_V1:=evalf(convert(argument(V1),degrees));
Pphase_V4:=evalf(convert(argument(V4),degrees));
Pphase_V1:= 70,455590086degrees,
Pphase_V4:= 49,89159084degrees.
```

Решения сразу для всех напряжений и токов можно увидеть, если ввести команды:

```
> Напряжения:=evalc(V_NET);
Токи:=evalc(J_NET);
Напряжения:= [1,44 + 1,71I, 0,58 + 1,63I],
Токи = [-0,0037 + 0,016I, 0,001 - 0,0108I, -0,0037 + 0,013I, 0,001 + 0,01I, 0,0027 - 0,0022I, 0,001 - 0,0108I].
```

Решения получены в виде списка, имена элементов которых указаны сразу после уравнений Кирхгофа. ☺

Продолжение следует

Антиотладочные приёмы для 8-битных микроконтроллеров AVR

Николай Баландин (Москва)

Статья посвящена защите авторского кода в микроконтроллерах AVR от нежелательного исследования.

ВВЕДЕНИЕ

Статья посвящена актуальной теме – защите программ от взлома и нелегального исследования. С 1 января 2008 г. вступил в силу новый закон об авторском праве вместе с поправками в УК РФ (ужесточено наказание за совершение преступлений, предусмотренных частью третьей статьи 180 УК РФ «Нарушение авторских и смежных прав»), но ситуация в сфере защиты авторских прав на программное обеспечение была и остаётся непростой.

В наибольшей степени это касается программных продуктов, произведённых отечественными программистами, которые работают в небольших организациях или, что чаще всего, в одиночку. За их спиной не стоят мощные юридические департаменты фирм – гигантов программного обеспечения, которые могут вести многомесячные судебные тяжбы и выигрывать их. Российские программисты не имели и не имеют до настоящего времени практической возможности получить гарантию авторских прав на разработанное ими ПО.

Хотелось бы подчеркнуть, что речь идёт не только о программах с уникальными алгоритмами обработки данных в микроконтроллере, но даже о несложных «прошивках». Формально и самая сложная программа, и простейшая должны быть одинаково защищены как интеллектуальная собственность программиста. В отличие от труда писателя, где издание небольшого рассказа даёт некоторую гарантию авторских прав, в программировании всё наоборот. В связи с этим мы рассмотрим некоторые методы защиты интеллектуальной собственности программиста на примере модификации программ для микроконтроллеров AVR Atmega168. Все примеры были скомпилированы и дизассемблированы в программе AVR Studio, версия 4.15.

ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ АВТОМАТИЧЕСКИМ И ИНТЕРАКТИВНЫМ ДИЗАССЕМБЛЕРАМ

Автоматический дизассемблер анализирует исходный hex-файл с прошивкой микроконтроллера и формирует по нему ассемблерный листинг программы. Примером автоматического дизассемблера является программа *disavr* (www.atmel.ru). Интерактивный дизассемблер включает в себя мощный пользовательский интерфейс, который строит граф передачи управления, позволяет изменять имена меток, функций и переменных, добавлять комментарии к листингу программы, искать последовательности символов в тексте листинга или последовательности байт в памяти.

На сегодняшний день одним из лучших интерактивных дизассемблеров является *IDA PRO* (по умолчанию он не поддерживает микроконтроллеры AVR, для этого необходимо установить дополнительный модуль). Основными его преимуществами являются возможности построения графа передачи управления, повторного дизассемблирования участков кода в директивы *.DW* или *.DD* и наоборот (констант в памяти в инструкции), замены выбранных инструкций на новые (редактирование кода), нахождение перекрёстных ссылок. Наличие функции построения графа сильно упрощает понимание общей структуры построения алгоритма программы, однако, как будет показано ниже, можно эффективно бороться с механизмом автоматического построения графа.

«ЗАПУТЫВАНИЕ» АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ

Этот метод является эффективным как для автоматических дизассемблеров, так и для интерактивных. Во-первых, можно вставлять команды условного ветвления, зная, что это условие будет ложным, т.е. управление не пере-

даётся. Можно, например, обнулить один из регистров, затем, через несколько десятков строк кода, вставить инструкцию перехода по условию, что содержимое регистра не равно нулю. Мы точно знаем, что этот переход никогда не выполнится, а вот интерактивный дизассемблер добавит лишнюю ветвь в графе, что, скорее всего, сделает и пользователь, анализирующий программу вручную с автоматическим дизассемблером. При достаточно большом числе таких ветвей пользователю придётся пошагово выполнять программу в отладчике и проверять истинность всех этих условий, что приведёт к большим затратам времени.

Модификацией этого метода является выполнение инструкций *JMP* через *PUSH* и *RET*, *CALL* через *PUSH* и *JMP*, что позволяет «сбить с толку» интерактивный дизассемблер, который умеет отделять обычные метки в программе от точек входа в функцию (функции в графе оформляются в виде отдельных блоков кода). Если проводить такие замены *CALL* и *JMP*, то можно, например, сделать так, что в графе локальная метка внутри функции будет определена как отдельная функция в графе, при этом может быть потеряна точка возврата.

Вся эта путаница пусть и медленно, но всё же раскрывается при внимательном статическом анализе кода. Чтобы сделать невозможным статическое исследование кода, необходимо использовать переходы и вызовы функций по динамически изменяемым адресам, т.е. применить инструкции *JCALL* и *IJMP* (*indirect call to Z, indirect jump to Z*). Значение, помещаемое в пару регистров *Z* (адрес), следует задавать не константой, а вычислять при выполнении кода (при этом мы должны точно знать, что получится, иначе это приведёт к некорректной работе программы). Тогда ни автоматический, ни интерактивный дизассемблеры не смогут определить точку входа или возврата из процедуры, а пользователь сможет определить это лишь при пошаговой трассировке под отладчиком.

Выше мы рассмотрели «классические» методы защиты программы от исследования. Их недостаток состоит в

том, что дизассемблер будет выдавать правильный листинг программы. Однако существуют приёмы, позволяющие искажать выходной листинг кода, т.е. при дизассемблировании в листинге появятся фиктивные инструкции, которые мы не использовали, а наши инструкции «исчезнут». Остановимся на этом подробнее.

ПЕРЕКРЫВАЮЩИЕСЯ ИНСТРУКЦИИ

Напомним, что адресация флэш-памяти микроконтроллеров AVR разнесена по словам (2 байта), а не по байтам; минимальная длина инструкции составляет 2 байта; программный счётчик указывает на слова, а не байты. Целью намеренного искажения будут инструкции, состоящие из 2 слов (4 байтов). В таких инструкциях первые 2 байта являются кодом операции, а последние 2 байта – операндом (например, адресом безусловного перехода или адресом вызываемой функции).

Рассмотрим такую инструкцию на примере программы для микроконтроллера Atmega168: *JMP k* – безусловный переход на адрес *k* ($PC=k$, на флаги процессора не влияет, выполняется за три такта); *k* – адрес, по которому осуществляется переход. В шестнадцатеричном виде формат этой команды будет такой:

```
JMP          k
0x940C 0xXXXX
```

Так, например, инструкция *JMP Reset* ($Reset=0x00$, вектор сброса) будет иметь код *0x940C0000*. Или в таком фрагменте программы:

```
    JMP sub_1; переход на sub_1
...
.ORG 0x123
sub_1: ; точка входа расположена
по адресу 0x123
    NOP
; JMP sub_1 будет иметь код
0x940C0123. (0x0123 – адрес пере-
хода)
```

Эту особенность 4-байтовых инструкций можно использовать, чтобы «обмануть» дизассемблер и запутать того, кто попытается исследовать алгоритм работы программы.

Суть перекрывающихся инструкций состоит в том, что вместо адреса мы подставляем код операции любой другой инструкции, например, *LDI*, *ADD*,

SEI или *CALL*. Далее, чтобы выполнялся не переход *JMP*, а скрытая инструкция, надо сделать так, чтобы процессор начал считывать команду не с первого слова (по которому расположен код операции *JMP*), а со второго (которое представляет собой скрытую инструкцию). Заставить процессор сделать это довольно просто – необходимо лишь изменить *PC* (*Program counter*, счётчик команд) так, чтобы после завершения выполнения текущей инструкции он стал указывать на начало скрытой в *JMP* инструкции (использование инструкций вызова и ветвления).

Естественно, в нашей программе нам придётся задать операнд (код операции скрытой команды) не мнемоническим обозначением скрытой инструкции, а указать его числовой код. В простейшем случае можно получить скрытую инструкцию *NOP* следующим образом (*JMP 0x00* имеет код *0x940C0000*):

```
JMP 0x51; PC = 0x51
.ORG 0x50; JMP расположен по ад-
ресу 0x50, а переход идет на
0x51, т.е. в середину JMP
JMP 0x00; переход на третий байт
JMP 0x00, будет считан код опера-
ции 0x0000 – NOP
LDI R15, 1; это выполнится после
NOP, перехода на 0x0000 не будет.
```

При выполнении такого фрагмента кода произойдёт сначала переход, а затем *NOP*, скрытый в *JMP 0x00*, после этого в регистр *R15* будет помещена единица, и не произойдет никакого перехода на вектор сброса (*JMP 0x00*).

Это – простейший случай; вместо *NOP* можно поставить что-нибудь более сложное, например, *ADD R15, R16*, тогда «переход» будет выглядеть как *JMP 0x0EF0*, и вместо перехода выполнится $R15=R15+R16$. Вообще говоря, передать управление на скрытую инструкцию можно не только через *JMP 0x51*, но и через *RJMP*, *CALL*, *ICALL*, *RCALL* и т.п.

Естественно, при обработке hex-файла с прошивкой контроллера дизассемблер «не поймёт», что выполняется не *JMP*, а другая инструкция, и выдаст *JMP*. Выяснить, что происходит на самом деле, можно только при помощи отладчика, пошагово выполняя программу, что, как правило, бывает просто физически невозможно в программах, содержащих более 1000 строк кода.

SCHAEFER

НАДЁЖНЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Импульсные источники питания

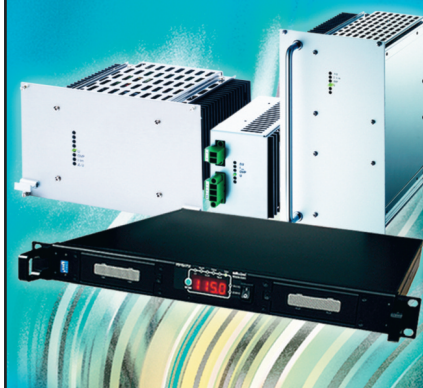
- Преобразователи DC/DC
- Источники питания AC/DC
- Устройства управления зарядом батарей

Импульсные инверторы

- Инверторы DC/AC
- Частотные преобразователи

Области применения

- Промышленная автоматизация
- Атомные электростанции
- Военная промышленность
- Железнодорожный транспорт



Реклама

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ
И СТРАНАХ СНГ

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640
E-mail: info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

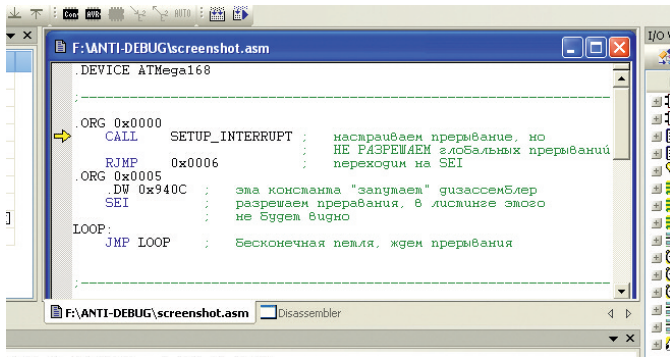


Рис. 1. Исходный текст программы со скрытой инструкцией SEI

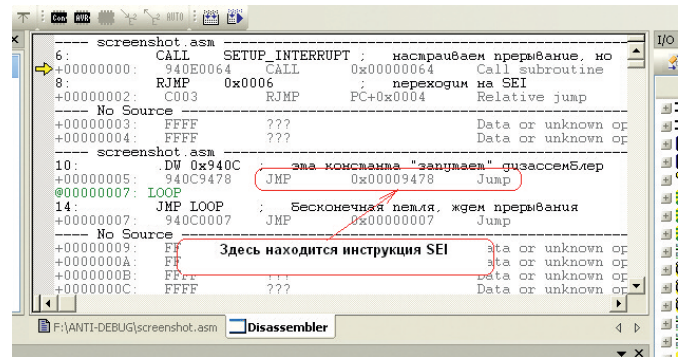


Рис. 2. Искажение исходного текста в дизассемблере

Однако существует более эффективный способ, который позволяет скрывать инструкции. Суть его состоит в том, что перед кодом, который необходимо «спрятать», ставится директива `.DW` (определить константу во флэш-памяти):

```

JMP 0x51; переходим на JMP
0x20
.ORG 0x50
.DW 0x940C; код операции JMP
JMP 0x20; сюда будет передано управление
    
```

Последняя инструкция будет скрыта при дизассемблировании программы, а получится:

```

JMP 0x940C; jump (по несуществующему адресу)
0020 ??? data or unknown opcode
(сообщение дизассемблера в AVR Studio)
    
```

Видно, что дизассемблер зашел в тупик, попытавшись расшифровать инструкцию с кодом `0x0020`.

Второй пример:

```

JMP 0x51; переходим на SEI
.ORG 0x50
.DW 0x940C; код операции JMP
SEI; разрешить глобальные прерывания
Листинг:
0x0050: JMP 0x9478 0x00009478; переход по несуществующему адресу.
    
```

Третий пример кода и выходной листинг дизассемблера приведены на рисунках 1 и 2.

СЕРИЙНЫЙ НОМЕР МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Все вышеописанные приёмы могут помочь защитить вашу программу от исследования, но не от копирования прошивки микроконтроллера. Одним из методов такой защиты является при-

вязка программы к серийному номеру микроконтроллера (который появился в новых микроконтроллерах, например AVR Xmega). Каждый выпускаемый МК получает на заводе уникальный серийный номер, который мы можем использовать для защиты программного кода прошивки микроконтроллера от незаконного копирования.

Известным методом защиты программы от копирования и исследования при наличии серийного номера МК является шифрование основного куска кода программы и добавление расшифровывающего модуля в начало программы. Однако этот приём, распространённый на машинах архитектуры x86, не подойдёт для микроконтроллеров по следующим причинам:

- при каждом запуске программа будет перезаписывать флэш-память, которая имеет ограниченное число циклов стирания-записи;
- перед выключением контроллера необходимо корректное завершение программы, т.е. модуль шифрования должен обратно зашифровать программу, вернув систему в исходное состояние. В противном случае станет недоступным исходный код.

Защитить программу при помощи серийного номера микроконтроллера можно при помощи установки контрольных точек с инструкциями `ICALL` или `IJMP`. Рассмотрим это на следующем фрагменте программы:

```

.EQU SerialNumber = 0x55AA; 2
байта из серийного номера нашего контроллера
; имитируем наличие в ATmega168 серийного номера
.EQU RealJumpAddr = 0x100; настоящий адрес перехода где-то в программе
.EQU ModifiedAddr =
SerialNumber^RealJumpAddr
; это - зашифрованный адрес перехода, привязанный к серийному номеру контроллера
    
```

```

...
CALL GetSerialNumber; эта под-
программа читает 2 байта серийного
номера из флэш-памяти и
помещает их в регистры R30 и R31
LDI R16, LOW( ModifiedAddr )
LDI R17, HIGH( ModifiedAddr )
EOR R30, R16
EOR R31, R17; если программа вы-
полняется в нашем контроллере, то
в регистре Z (R30:R31) будет
RealJumpAddr
IJMP; переходим по адресу в Z
    
```

Здесь предполагается, что при включении микроконтроллера программа сначала считывает байты серийного номера из флэш-памяти, вызывая функцию `GetSerialNumber`, которая сохраняет эти два байта в регистрах R30 и R31. Затем программа загружает в регистры R16 и R17 изменённый адрес перехода и выполняет между ними операцию XOR. Если программа будет загружена в МК с другим серийным номером, то ветвление произойдёт по неизвестному адресу и программа не будет корректно работать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Независимо от того, работаете ли вы над большим проектом или пишете небольшую демонстрационную программу, стоит подумать о мерах по защите вашего кода. Заранее неизвестно, останется ли эта программа на стадии доработки или найдёт широкое коммерческое применение. Конечно, универсальной защиты не существует. Применяв описанные в статье методы защиты, вы не сможете быть на сто процентов уверенными в том, что никто не заимствует ваш код. Однако затраченное на это время будет сопоставимо со временем написания подобной программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.atmel.com/avr.
2. www.atmel.ru.



ВТОРИЧНАЯ ОПТИКА ДЛЯ НОВЫХ СЕРИЙ СВЕТОДИОДОВ CREE XR-E, XR-C, MC-E

КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ

Линзы и держатели Carclo 20 мм для светодиодов Cree XR-E, XR-C, MC-E

Наименование	Описание	Белый XR-E		Белый MC-E	
		КПД по световому потоку, %	Угол излучения, °	КПД по световому потоку, %	Угол излучения, °
10193	Plain Tight	87,3	8,2	84,5	20
10194	Frosted Narrow	86,9	10,35	83	24
10208	Ripple Medium	86,9	19,5	82,5	29
10195	Frosted Medium	82,9	17,9	78	27,5
10209	Ripple Wide	81,7	20,5	80	36,5
10196	Frosted Wide	78,1	31,5	70	45
10197	Elliptical	86	47 × 8	81	44 × 23
10198	Elliptical Orthogonal	85,6	8 × 47	80	22 × 44



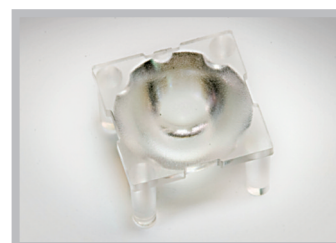
Держатели Carclo 20 мм для линз для светодиодов Cree XR-E, XR-C, MC-E

Наименование	Описание
10568	Держатель для линзы 20 мм для светодиодов XR-E, XR-C, цвет – прозрачный
10566	Держатель для линзы 20 мм для светодиодов XR-E, XR-C, цвет – черный
10513	Держатель для линзы 20 мм для светодиодов MC-E, цвет – прозрачный



Линзы Carclo 10 мм для светодиодов Cree XR-E, XR-C

Наименование	Описание	Белый XR-E	
		КПД по световому потоку, %	Угол излучения, °
10412	Plain Medium Flat front	91,8	16,5
10413	Frosted Medium	87,2	25,9
10414	Frosted Wide	80	36,7
10415	Elliptical	88,1	43 × 16



Для монтажа линзы Carclo 20 мм используется специальный держатель. Держатели приклеиваются к поверхности печатной платы клеем.

Для монтажа линзы Carclo 10 мм не требуется держатель, линза имеет специальные ножки для крепления на печатной плате, в которой должны быть предусмотрены технологические (посадочные) отверстия; линза приклеивается к поверхности печатной платы клеем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВТОРИЧНОЙ ОПТИКЕ НА САЙТЕ www.xlight.ru

- Информация по оптике для светодиодов Cree XR-E, XR-C, XR.
- Кривые силы света (диаграммы направленности) на оптику Carclo, Ledil.
- Габаритные чертежи линз и держателей.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ XLIGHT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

Внутрисхемная отладка для микроконтроллеров ADUC

Дмитрий Онышко (Ростовская обл.)

В статье рассматривается отладочный модуль *MonADI* для микроконтроллеров ADUC семейства C51.

Как показывает практика, программного симулятора микроконтроллера недостаточно для определения и устранения всех ошибок в программе проекта. Это обусловлено тем, что в реальной схеме могут быть различные периферийные устройства (например, ЖКИ, жёсткий диск, флэш-диск, сетевой контроллер и т.п.) и в программе необходимо учитывать все особенности их использования. Поэтому отладку программы лучше проводить прямо в схеме. Для этого в программном пакете *Keil Software – μVision3 (μVision4)* есть внутрисхемные отладчики. В данной статье будет рассмотрен отладочный модуль *MonADI* для микроконтроллеров ADUC семейства C51.

В настоящее время широко используются микроконтроллеры с расширенными аппаратными средствами и возможностью внутрисхемной модификации своей памяти (ISP – In-System Programming) по одному из последовательных интерфейсов. К таким микроконтроллерам относятся микроконтроллеры ADUC фирмы Analog Devices.

Благодаря своей насыщенной периферии, они нашли широкое применение в системах сбора и обработки информации.

В таблице приведены основные технические характеристики микроконтроллеров ADUC, которые допускают внутрисхемную отладку. Структурная схема, реализующая режим отладки с помощью *MonADI*, представлена на рисунке 1.

Суть внутрисхемной отладки заключается в том, что программа записывается и выполняется в микроконтроллере, а в окне отладчика *Keil* отображается всё содержимое памяти и регистров микроконтроллера. При этом обмен отладчика с микроконтроллером производится через реальный COM-порт RS-232. Необходимо отметить, что при такой внутрисхемной отладке нет необходимости использовать дополнительную память, а также вносить аппаратные изменения в схему проекта. Это обусловлено использованием встроенного ядра отладчика/загрузчика, которое записывается в микроконтрол-

лер на заводе-производителе по адресам F800H – FFFFH.

Отладчик *MonADI* реализует следующие функции:

- загрузку программного кода во внутреннюю память микроконтроллера;
- высокий уровень отладки с использованием исходного кода на языке Си и ассемблере;
- запуск приложения в реальном масштабе времени;
- пошаговую отладку;
- установку неограниченного числа точек останова;
- наблюдение за переменными программы;
- отображение и изменение содержимого памяти.

В режиме отладки *MonADI* обменивается данными с ПК через встроенный последовательный интерфейс UART. При этом устройство подключается через блок согласования уровней RS-232 (например, SP232) к COM-порту ПК. Соединительный кабель на базе разъёма DB9 показан на рисунке 2. Принципиальная схема устройства, обеспечивающая работу монитора, приведена на рисунке 3.

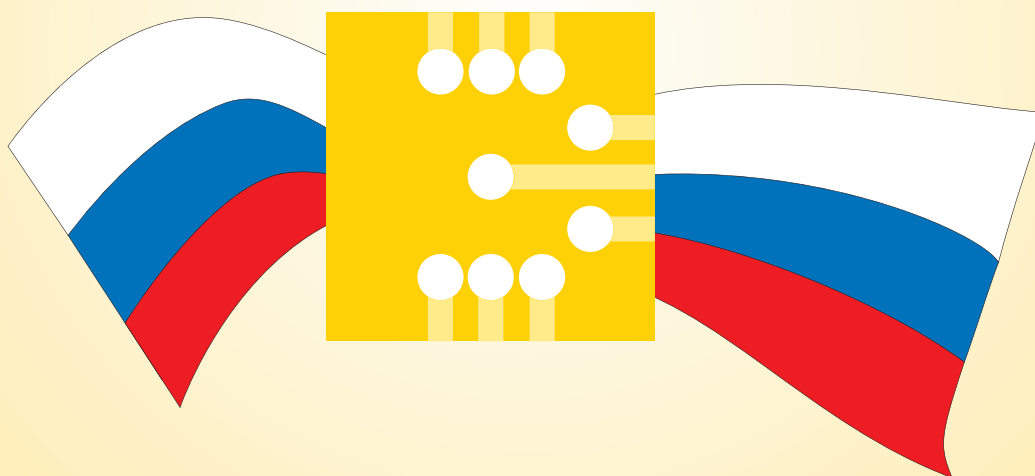
Важным этапом внутрисхемной отладки является настройка среды отладки *μVision3 (4)*. Для созданного проекта необходимо открыть свойства проекта

Основные технические характеристики микроконтроллеров ADUC

Наименование	Внутренняя частота, МГц	Частота внешнего резонатора, МГц	АЦП	Число килобайт за секунду	ЦАП/ШИМ	Флэш-память программ, Кб	ОЗУ, байт	Флэш-память данных, Кб
ADUC831	16	16	1 ЦАП, 12 бит, 8 кан.	247	2 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC832	16	0,032	1 ЦАП, 12 бит, 8 кан.	247	2 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC834	12	0,032	2ЦАП, 24 и 16 бит, 5 кан.	0,105	1 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC836	12	0,032	2 ЦАП, 16 бит, 5 кан.	0,105	1 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC841	20	20	1 ЦАП, 12 бит, 8 кан.	420	2 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC842	16	0,032	1 ЦАП, 12 бит, 8 кан.	420	2 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16бит	62	2304	4
ADUC843	16	0,032	1 ЦАП, 12 бит, 8 кан.	420	2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC845	12	0,032	2 ЦАП, 24 бит, 10 кан.	1,365	1 ЦАП 12 бит, 2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC847	12	0,032	1 ЦАП, 24 бит, 10 кан.	1,365	2 ШИМ 16 бит	62	2304	4
ADUC848	12	0,032	1 ЦАП, 16 бит, 10 кан.	1,365	2 ШИМ 16 бит	62К	2304	4

**ОТ КОМПОНЕНТОВ ДО МОДУЛЕЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ!**

**РОССИЙСКАЯ
НЕДЕЛЯ
ЭЛЕКТРОНИКИ**



26–28 октября 2010 года
www.RussianElectronicsWeek.ru

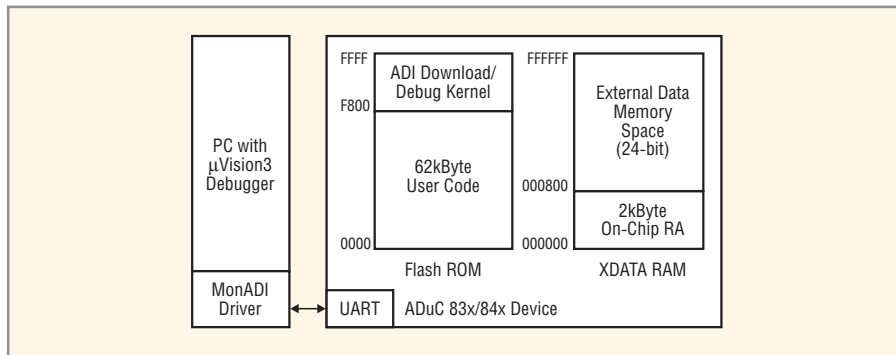


Рис. 1. Использование внутрисхемного отладчика MonADI

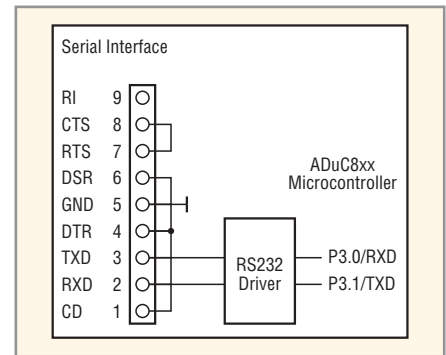


Рис. 2. Подключение к COM-порту ПК

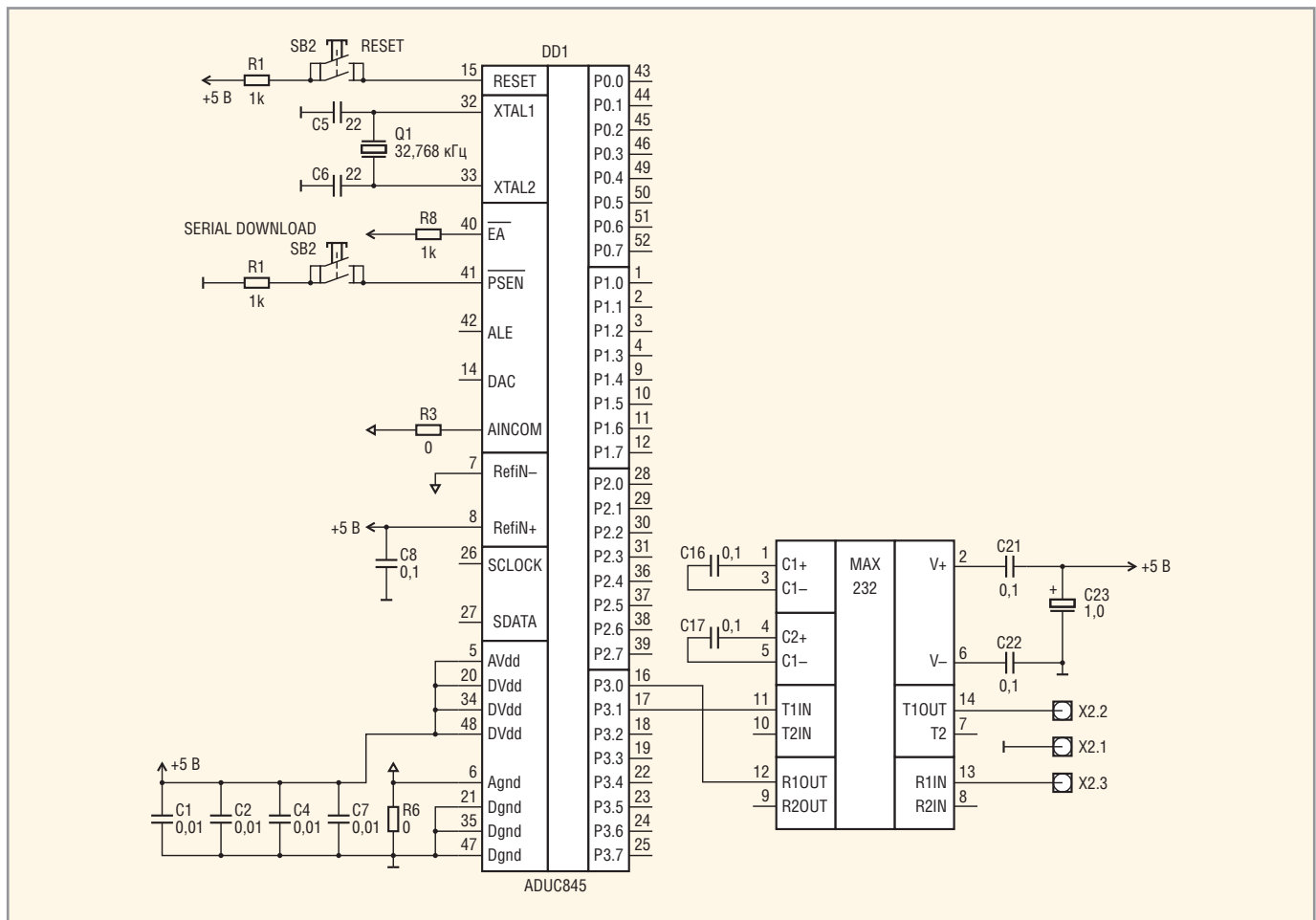


Рис. 3. Схема включения микроконтроллера ADUC845

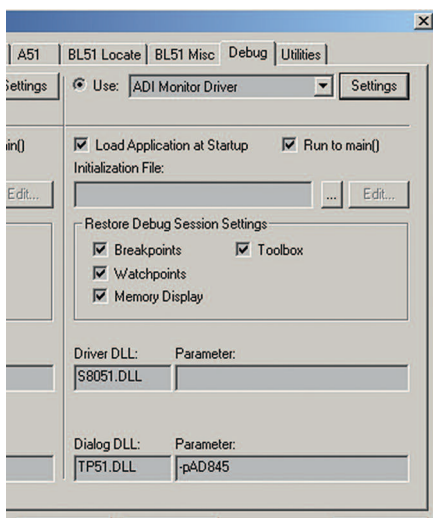


Рис. 4. Выбор отладчика

(Project – Option for Target), выбрать закладку Debug и установить режим отладки *ADI Monitor Driver*. При этом необходимо установить параметры *Load Application at Startup* и *Run to main()*, потому что ядро отладчика требует, чтобы при каждой новой сессии отладки выполнялось стирание и повторная запись программы пользователя.

После этого необходимо нажать кнопку *Settings* для установки свойства отладочного режима (см. рисунки 4 и 5), т.е. установить номер COM-порта и выбрать параметры записи данных в память.

Для запуска внутрисхемной отладки необходимо выполнить следующие шаги:

- соединить последовательный интерфейс с COM-портом ПК;
- подать питающее напряжение на схему проекта;
- активировать ядро отладчика микроконтроллера. Для этого необходимо перевести сигнал PSEN микроконтроллера в лог. 0 по окончании аппаратного сброса микроконтроллера. Это можно сделать следующим образом:
- нажать и удерживать кнопку *Serial Download*;
- нажать кнопку *Reset*;
- отжать кнопку *Serial Download*.

Если всё сделано правильно, то после перехода в режим отладки (*Debug* –

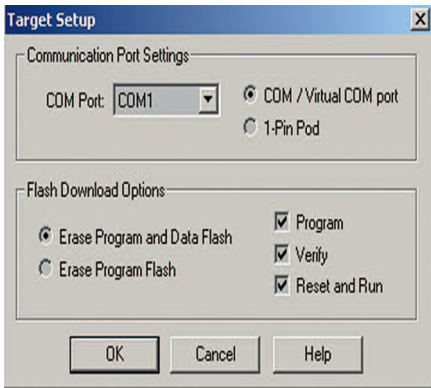


Рис. 5. Выбор параметров отладчика

Start/Stop Debug Session) запустится модуль отладчика и произойдет запись программы проекта в микроконтроллер. С помощью внутрисхемного отладчика можно производить те же самые операции, что и в симуляторе: изменять содержимое ячеек памяти и регистров, устанавливать точки останова, пошагово выполнять программу и т.д.

Для программирования микроконтроллера без отладки используется режим *flash programming* (параметр *Flash download*) (см. рис. 6). В настройках проекта для этого режима не-

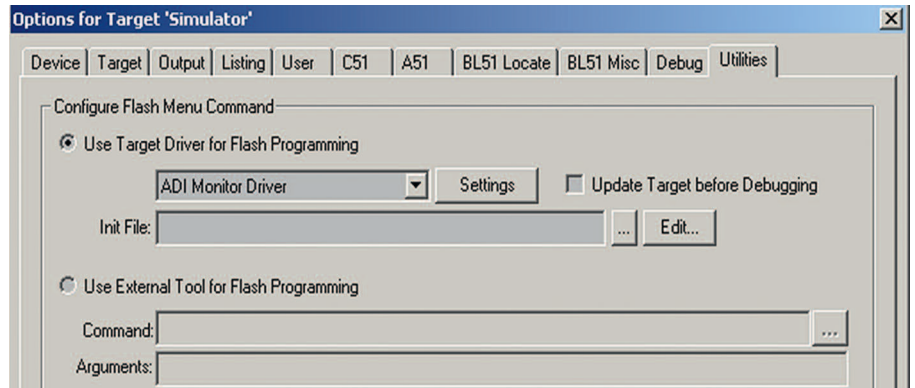


Рис. 6. Выбор программатора

обходимо также выбрать параметры соединения по последовательному интерфейсу.

Необходимо отметить, что использование отладчика имеет ряд ограничений. Например, отладчик не обеспечивает временной анализ выполнения программы пользователя. Невозможно также использовать UART микроконтроллера в программе пользователя, поскольку UART уже задействован отладчиком для связи с ПК. Эти ограничения не являются существенными. При необходимости выполнить временной анализ и про-

верить работу UART можно в режиме симулятора.

Использование такого способа отладки позволяет ускорить процесс разработки программ для микроконтроллеров, быстро и качественно отладить как аппаратную, так и программную части микропроцессорной системы с использованием ассемблера или языка Си.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.atmel.com.
2. www.chipinfo.ru.
3. www.keil.com.



Клеммы и соединители для печатных плат






К монтажу
ГОТОВЫ!

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ WAGO В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Реклама

Адаптивные фильтры и их приложения в радиотехнике и связи

(часть 2)

Виктор Джиган (Москва)

Настоящая статья является введением в теорию и практику адаптивной фильтрации. В ней рассмотрены основные понятия и термины, используемые в адаптивной обработке сигналов, структуры адаптивных фильтров, целевые функции, лежащие в основе функционирования адаптивных фильтров, а также ряд наиболее известных приложений адаптивных фильтров, таких как подавление эхо-сигналов, выравнивание электрических характеристик каналов связи, адаптивные антенные решётки, шумочистка и линейное предсказание.

Прямая идентификация неизвестной системы

Существует ряд известных приложений адаптивных фильтров. Самым простым и понятным является решение задачи прямой идентификации

неизвестной системы (см. рис. 4). Это решение базируется на определении импульсного отклика идентифицируемой системы.

При решении задачи идентификации сигнал $x(k)$ является входным и для

идентифицируемой системы, и для адаптивного фильтра, поэтому минимизация некоторой функции ошибок $\alpha(k)$ между выходным сигналом неизвестной системы $d(k)$ и выходным сигналом адаптивного фильтра $y(k)$ означает, что адаптивный фильтр моделирует неизвестную систему, т.е. $\mathbf{h}_N(k) \rightarrow \mathbf{w}_N$, т.к. фильтр «воспроизводит» выходной сигнал системы, характеризуемой импульсным откликом \mathbf{w}_N .

На рисунке 5 приведён пример моделирования работы адаптивного фильтра с вектором ВК $\mathbf{h}_N(k)$ (обозначен как «Фильтр», красная кривая) при решении задачи идентификации импульсного отклика \mathbf{w}_N (обозначен как «Система», зелёная кривая) при $N = 64$. На рисунках показаны значения векторов \mathbf{w}_N и $\mathbf{h}_N(k)$ на разных итерациях k работы адаптивного алгоритма. Видно, что со временем, т.е. с увеличением номера текущей итерации k , $\mathbf{h}_N(k) \rightarrow \mathbf{w}_N$.

На рисунке 6 показаны формы сигналов при решении задачи идентификации. В качестве сигнала $x(k)$ в моделировании использовался белый шум. На рисунках 6а, 6б – 6з видно, что по мере того, как ВК адаптивного фильтра приближаются к ВК идентифицируемого импульсного отклика, выходной сигнал фильтра $y(k)$ (обозначен как «Фильтр», красная кривая) приближается к сигналу $d(k)$ (обозначен как «Система», зелёная кривая), а сигнал ошибки (см. рис. 6б, розовая кривая) уменьшается, т.е. $|\alpha(k)| \rightarrow 0$.

На качество решения этой задачи, независимо от вида используемого алгоритма адаптивной фильтрации, влияет наличие аддитивного шума $z(k)$ на входе требуемого сигнала (см. рис. 7). Шум $z(k)$ может быть как тепловым шумом в каналах проводной связи или акустическим шумом в помещении, так и шумом, обусловленным неполной идентификацией неизвестного объекта из-за того, что точное число ВК идентифицируемого импульсного отклика на практике, как правило, неизвестно. Поэтому число ВК адаптивного фильтра N_b обычно меньше предполагаемого числа ВК N_w иденти-

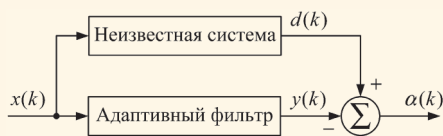


Рис. 4. Адаптивная идентификация неизвестной системы

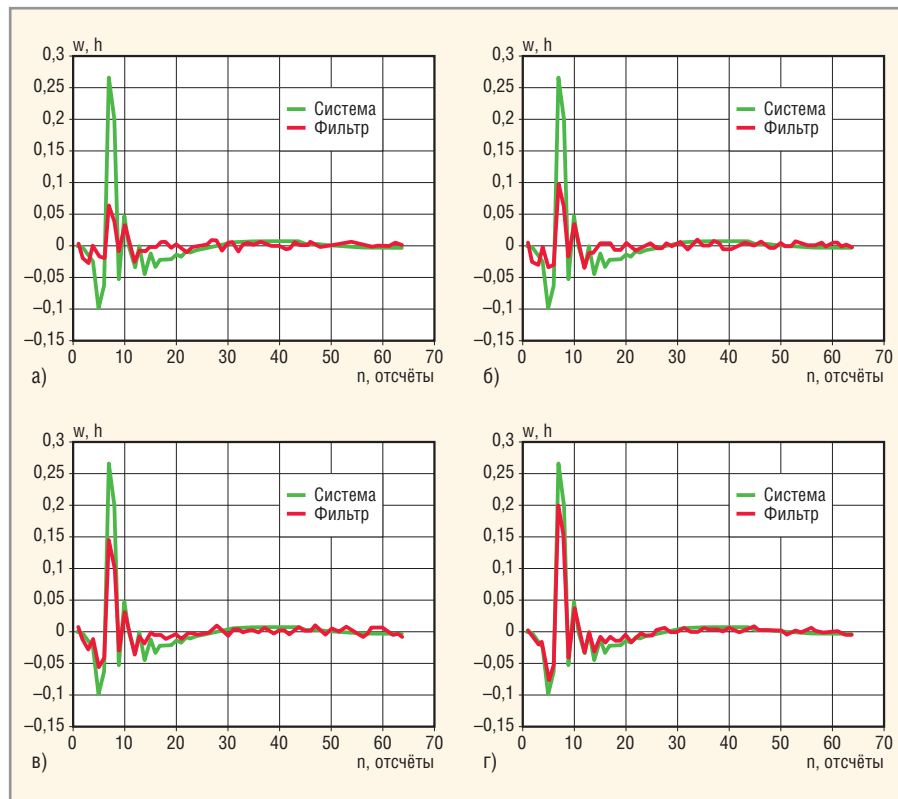


Рис. 5. Идентификация импульсного отклика (а) $k = 100$; (б) $k = 200$; (в) $k = 400$; (г) $k = 800$

фицируемого объекта, что также обусловлено ограничениями на вычислительную сложность алгоритмов адаптивной фильтрации, которая пропорциональна числу ВК N_b .

Некомпенсированная часть импульсного отклика образует шум, который оценивается как

$$\begin{aligned}
 z(k) &= d(k) - \mathbf{h}_N^H(k-1) \mathbf{x}_N(k) = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} w_n^* x(k-n+1) - \\
 &- \sum_{n=1}^N b_n^*(k-1) x(k-n+1) = \\
 &= \sum_{n=1}^N w_n^* x(k-n+1) + \\
 &+ \sum_{n=N+1}^{\infty} w_n^* x(k-n+1) - \\
 &- \sum_{n=1}^N b_n^*(k-1) x(k-n+1) = \\
 &= \sum_{n=N+1}^{\infty} w_n^* x(k-n+1) \quad (4)
 \end{aligned}$$

в предположении, что

$$\sum_{n=1}^N w_n^* x(k-n+1) = \sum_{n=1}^N b_n^*(k-1) x(k-n+1),$$

т.е. некоторая (как правило, начальная) часть неизвестного импульсного отклика \mathbf{w}_∞ в точности идентифицируется адаптивным фильтром: $\mathbf{h}_N(k-1) = \mathbf{w}_N$.

На рисунке 8 показаны результаты решения задачи идентификации при $N_b \leq N_w$ и $N_w = 64$. На рисунке 8а представлены графики рассогласования (mismatch) – одного из показателей качества адаптивного фильтра, используемого в задачах идентификации. Рассогласование – это мера расстояния между вектором ВК адаптивного фильтра $\mathbf{h}_{N_b}(k)$ и вектором коэффициентов идентифицируемого импульсного отклика \mathbf{w}_{N_w} :

$$\rho(k) = 20 \lg \left(\frac{\|\mathbf{w}_{N_w} - \mathbf{h}_{N_b}(k)\|_2}{\|\mathbf{w}_{N_w}\|_2} \right). \quad (5)$$

При $N_b < N_w$ вектор $\mathbf{h}_{N_b}(k)$ в уравнении (5) дополняется нулями до $N_b = N_w$. Из рисунка 8а следует, что при $N_b < N_w$ длительность переходного процесса адаптивного фильтра в терминах $\rho(k)$ уменьшается, т.к. уменьшается «длина» фильтра (т.е. длина его импульсного отклика или число его ВК). Однако при этом возникает шум (4), влияющий на

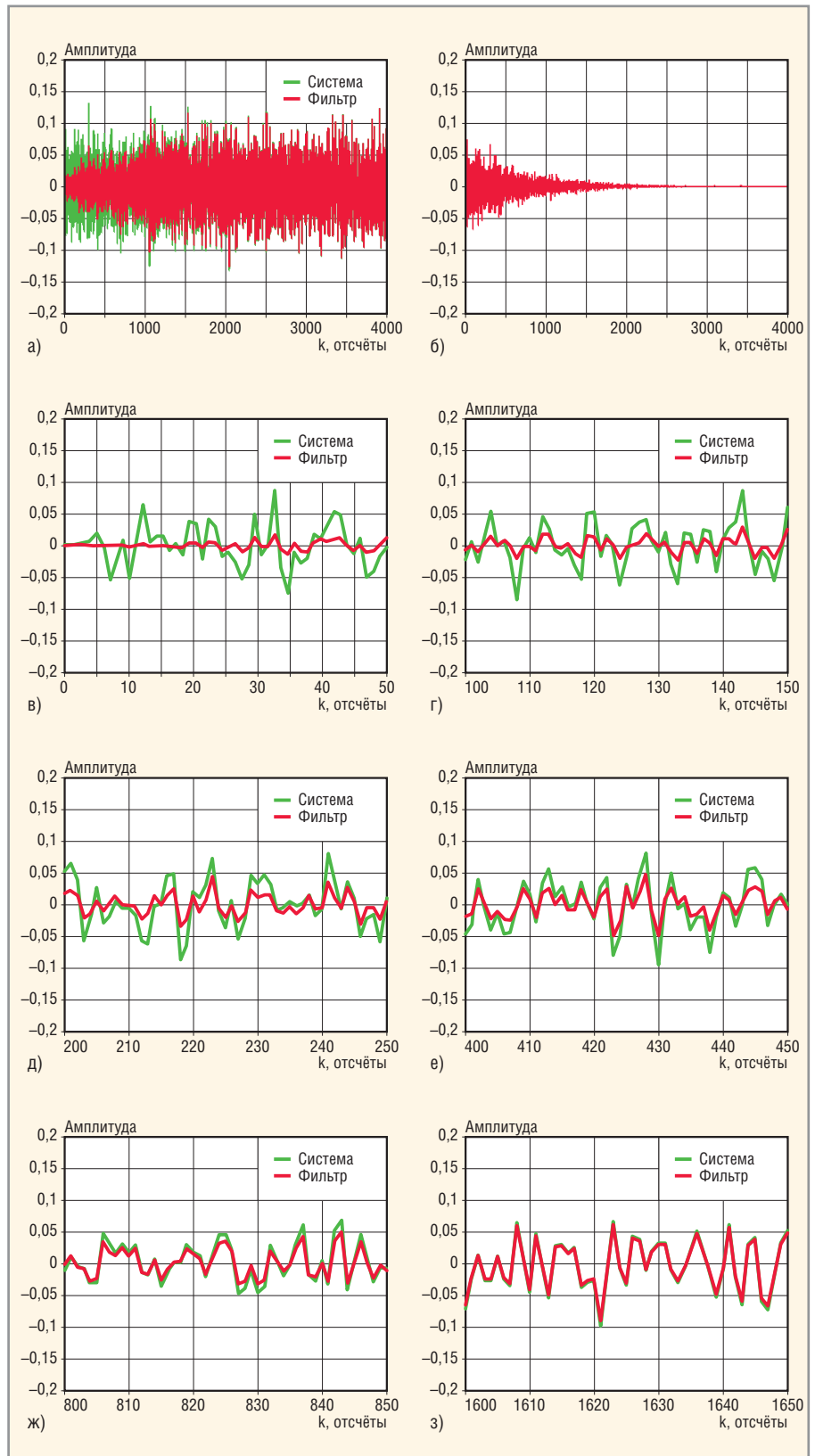


Рис. 6. Идентификация импульсного отклика

(а) сигналы $d(k)$ и $y(k)$; (б) сигнал $\alpha(k)$, (в) – (з) сигналы $d(k)$ и $y(k)$ на интервалах в 50 отсчетов



Рис. 7. Адаптивная идентификация неизвестной системы при наличии аддитивного шума

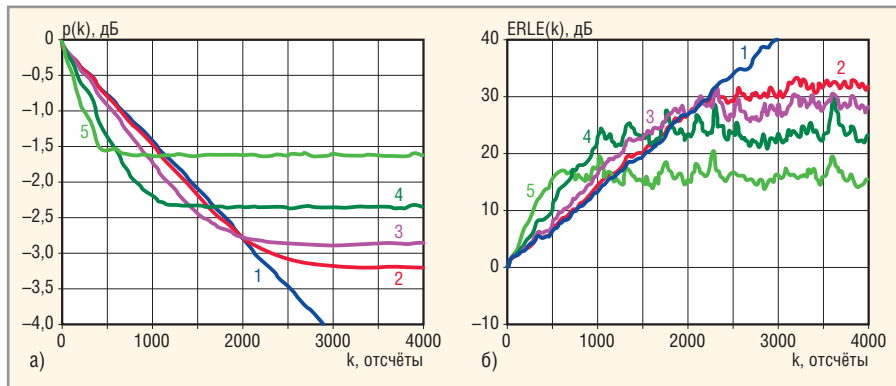


Рис. 8. Идентификация импульсного отклика

(а) рассогласование; (б) ERLE: 1 – $N_h = 64$; 2 – $N_h = 60$; 3 – $N_h = 50$; 4 – $N_h = 32$; 5 – $N_h = 16$

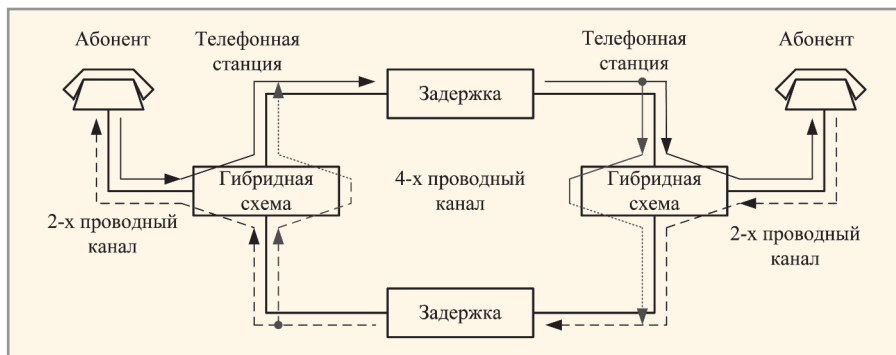


Рис. 9. Устройство телефонной связи между двумя абонентами

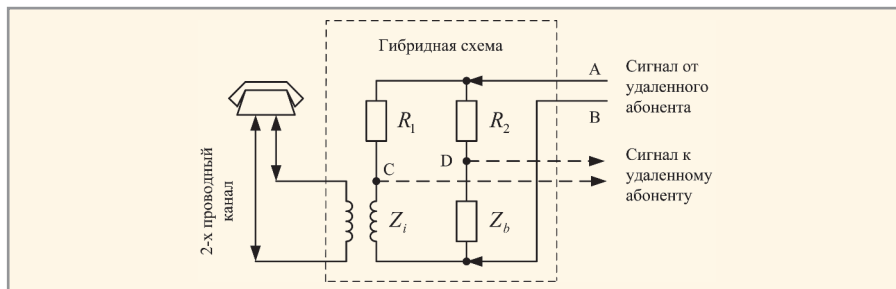


Рис. 10. Гибридная схема

качество алгоритма адаптивной фильтрации. В частности, этот шум уменьшает точность настройки ВК, характеризуемую рассогласованием (5).

Длительность переходного процесса адаптивного фильтра – это время, в течение которого наблюдаемый показатель качества претерпевает «заметные» изменения. Время, в течение которого наблюдаемый показатель качества не

претерпевает «заметных» изменений, называется установившимся режимом или состоянием.

В адаптивной фильтрации качество решения задачи идентификации также принято характеризовать коэффициентом ослабления эхо-сигнала (Echo Return Loss Enhancement, ERLE), который определяется как отношение энергии сигнала $d(k)$ к энергии сигнала остаточных ошибок $\alpha(k)$, именуемого эхо-сигналом:

$$ERLE(k) = 10 \log_{10} \frac{E[d^2(k)]}{E[\alpha^2(k)]}. \quad (6)$$

Переходные процессы, аналогичные рис. 8а, в терминах ERLE представлены на рисунке 8б. Этот рисунок также подтверждает ухудшение качества решения задачи идентификации при $N_b \leq N_w$, т.е. возрастание энергии ошибок $\alpha(k)$, что обусловлено наличием

шума $z(k)$, влияющего на качество работы адаптивного фильтра.

При решении задачи идентификации соотношение между числом ВК N_b и N_w выбирается на основе компромисса между качеством решения задачи и ограничениями на вычислительные ресурсы, выделяемыми на реализацию адаптивного фильтра.

ПОДАВЛЕНИЕ ЭХО-СИГНАЛОВ

Компенсация сигналов электрического и акустического эха является широко используемой на практике задачей идентификации неизвестной системы. Исторически сложилось, что из-за экономии проводников двуправленная связь между телефонным аппаратом абонента и коммутационным оборудованием телефонной станции осуществляется с помощью двухпроводного канала связи без усиления сигналов (см. рис. 9), поскольку длина этого участка телефонной сети обычно не превышает нескольких километров. Связь же между телефонными станциями осуществляется на значительно большие расстояния. Поэтому передаваемые между станциями сигналы подвергаются усилению, отчего связь на этом участке сети является однонаправленной и осуществляется по двум двухпроводным каналам связи, т.е. по одному четырёхпроводному каналу связи. Переход между двух- и четырёхпроводными каналами связи осуществляется с помощью так называемых гибридных (мостовых) схем.

Один из вариантов гибридной схемы приведён на рисунке 10. Это устройство не может быть сбалансировано во всём диапазоне частот обрабатываемых сигналов из-за того, что проводные линии связи характеризуются частотнозависимым входным импедансом. В результате через гибридную схему происходит утечка части сигнала удалённого абонента $u_{AB}(t)$ обратно к удалённому абоненту, т.е. образуется эхо-сигнал $u_{CD}(t) < u_{AB}(t)$ [36]. Пути протекания эхо-сигналов на рисунке 9 показаны зелёными линиями.

Действительно, условие баланса гибридной схемы (см. рис. 10) определяется как $Z_i/(R_1 + Z_i) = Z_b/(R_2 + Z_b)$. Если $R_1 = Z_b$, то $Z_b = R_2$. Но $R_1 \neq Z_b$, поскольку Z_i – комплексный импеданс двухпроводной линии связи, нагруженной на развязывающий трансформатор. Импеданс Z_i зависит от топологии канала связи [37, 38]. Балансное сопротивление Z_b – это, в большинстве случаев, просто резистор.



Рис. 11. Требуемое подавление эхо-сигнала

Поэтому согласовать схему, показанную рис. 10, во всей интересующей полосе частот не представляется возможным. Если условие баланса не соблюдается, то образуется эхо-сигнал $u_{CD}(t) \neq 0$.

Эхо-сигнал, будучи задержанным в силу конечной скорости распространения в проводниках, проходит через гибридную схему и возвращается к удалённому абоненту. Эхо-сигнал, образованный в проводных каналах связи, называется сигналом электрического эха. Для обеспечения комфортного разговора эхо-сигнал необходимо подавлять тем сильнее, чем больше его задержка (см. рис. 11) [39].

Известно, что гибридную схему можно смоделировать линейным КИХ-фильтром [37, 38]. Поэтому задача подавления сигналов электрического эха формализуется как задача идентификации импульсного отклика этого фильтра w_∞ (см. рис. 12). Аналогично решается задача подавления сигналов электрического эха в модемах проводных систем связи, где также требуется разделение сигналов между двух- и четырёхпроводными каналами (см. рис. 13).

Акустическое эхо имеет несколько иную природу. Оно образуется за счёт отражения акустических сигналов, излучаемых, например, громкоговорителем от стен помещения и приёма этих отражений микрофоном. Громкоговоритель и микрофон могут быть элементами устройств озвучивания помещений или устройств громкоговорящей связи. Акустическая среда характеризуется акустическим импульсным откликом [40], поэтому принцип подавления сигналов акустического эха (см. рис. 14) такой же, как и принцип подавления сигналов электрического эха. Идентифицируемый импульсный отклик в данном случае образуется как свёртка импульсных откликов усилителя, громкоговорителя, микрофона и акустического импульсного отклика.

Рассмотрим эффективность применения адаптивной эхо-компенсации на примере компенсации сигналов электрического эха [36]. Стандарт [41] регламентирует модели ряда импульсных откликов гибридных схем, порождающих сигналы электрического эха. На рисунке 15а представлен один из таких откликов (такой же, как на рис. 5). Гибридная схема с этим импульсным откликом подавляет сигнал $x(k)$ всего лишь примерно на 7,6 дБ. Это подавление грубо можно оценить из амплитудно-частотной

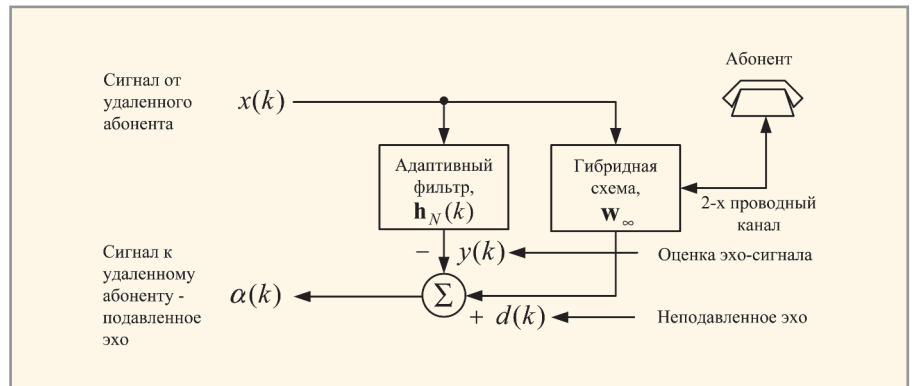


Рис. 12. Подавление сигналов электрического эха в телефонных сетях

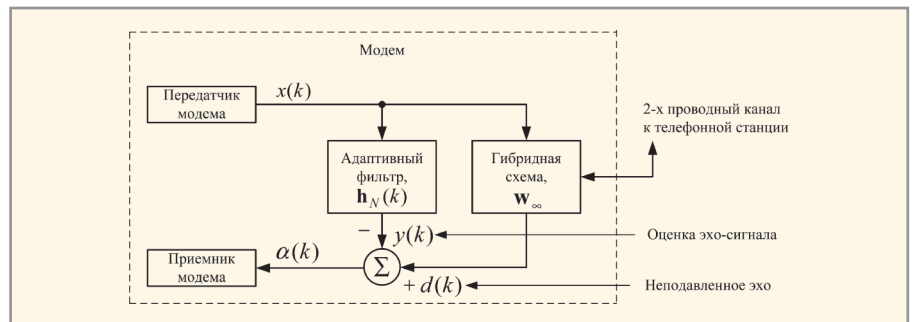


Рис. 13. Подавление сигналов электрического эха в модемах

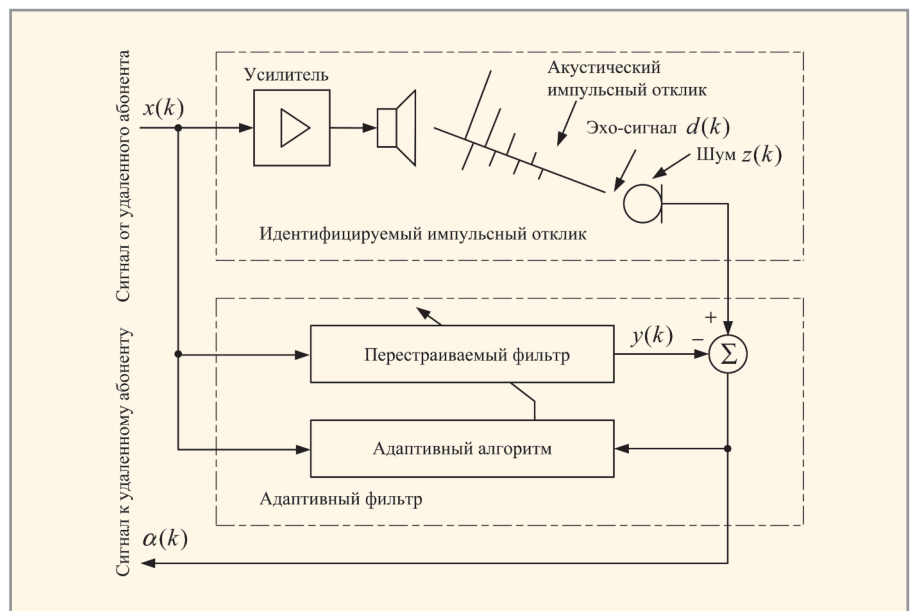


Рис. 14. Подавление сигналов акустического эха

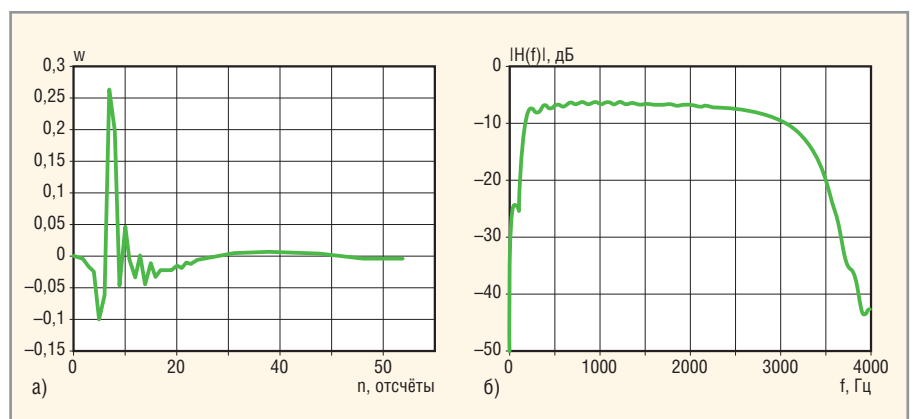


Рис. 15. ERLE \approx 7,6 дБ

(а) – импульсный отклик гибридной схемы, (б) – АЧХ гибридной схемы

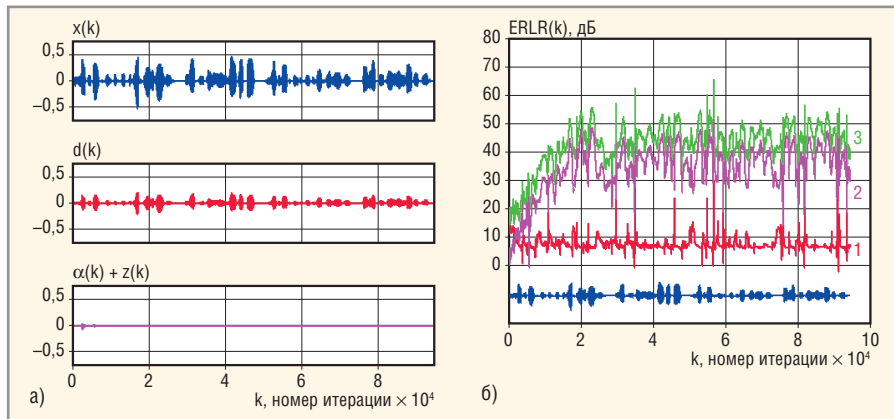


Рис. 16. NLMS-алгоритм

(1) ERLR гибридной схемы, (2) ERLR адаптивного фильтра, (3) ERLR гибридной схемы и адаптивного фильтра

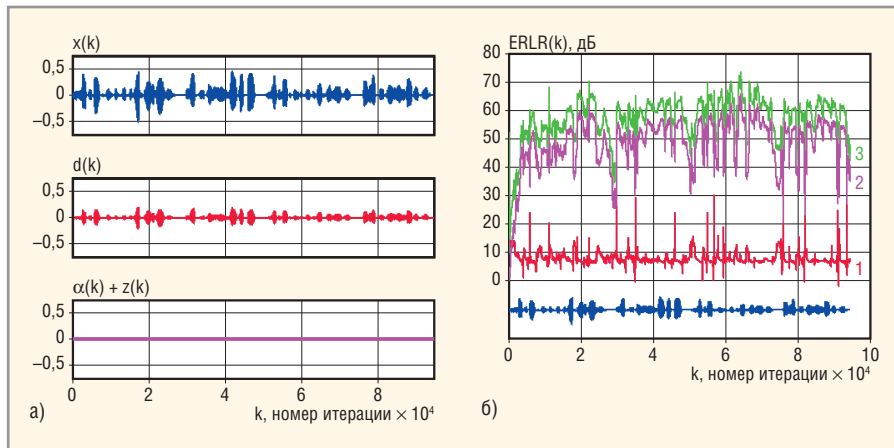


Рис. 17. RLS-алгоритм

(1) ERLR гибридной схемы, (2) ERLR адаптивного фильтра, (3) ERLR гибридной схемы и адаптивного фильтра

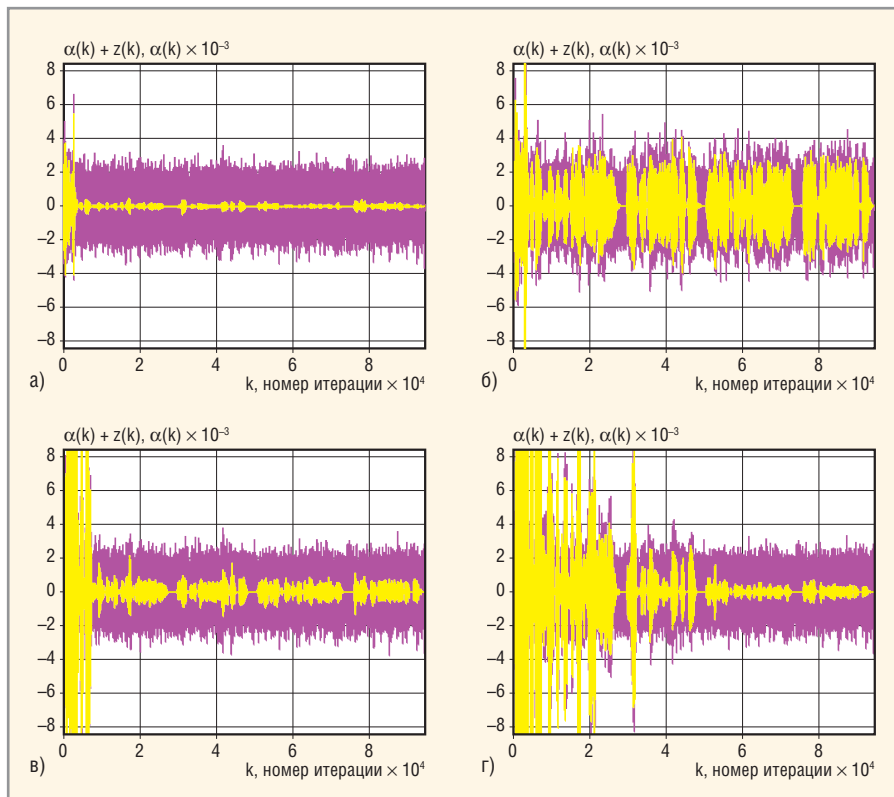


Рис. 18. Зашумленный остаточный эхо-сигнал $\alpha(k) + z(k)$ (тёмная кривая) и незашумленный остаточный эхо-сигнал $\alpha(k)$ (светлая кривая)

(а) RLS-алгоритм, (б) NLMS-алгоритм, $\hat{\mu} = 1$, (в) NLMS-алгоритм, $\hat{\mu} = 0,1$, (г) NLMS-алгоритм, $\hat{\mu} = 0,025$

характеристики (АЧХ) гибридной схемы (см. рис. 15б), которая «примерно одинаковая» ($-7 \dots -8$ дБ) в большей части полосы частот телефонного канала $0 \dots 4$ кГц.

Ослабление эхо-сигналов в терминах ERLR для гибридной схемы представляет собой отношение энергий входного сигнала и эхо-сигнала:

$$ERLE(k) = 10 \log_{10} \frac{E[x^2(k)]}{E[d^2(k)]}. \quad (7)$$

На рисунке 16 приведены результаты моделирования подавления эхо-сигнала, образованного гибридной схемой, с помощью адаптивного фильтра на базе простого нормализованного алгоритма по критерию наименьшего среднего квадрата (Normalized LMS, NLMS). На рисунке 16а видно, что эхо-сигнал (красная средняя кривая) имеет достаточно большую амплитуду. Это означает, что данный сигнал будет восприниматься человеческим ухом, создавая дискомфорт в разговоре, и должен быть подавлен. Видно, что адаптивный фильтр подавляет эхо-сигнал (нижняя розовая кривая). Аддитивный шум $z(k)$ в экспериментах был примерно на уровне -30 дБ относительно среднего уровня эхо-сигналов.

Параметр ERLR адаптивного фильтра для графиков, представленных на рис. 16б, определяется как

$$ERLE(k) = 10 \log_{10} \frac{E[d^2(k)]}{E[\alpha^2(k)]}, \quad (8)$$

а для гибридной схемы и адаптивного фильтра – как

$$ERLE(k) = 10 \log_{10} \frac{E[x^2(k)]}{E[\alpha^2(k)]}. \quad (9)$$

Энергия сигналов в вычислениях (7) – (9) для эксперимента (см. рис. 16) определялись на скользящем окне в 256 отсчётов, что при частоте дискретизации 8 кГц, принятой при обработке сигналов в телефонных каналах, равно интервалу усреднения $256 / (8 \times 10^3) = 32 \times 10^{-3} = 32$ мс, т.е. условному интервалу стационарности речевого сигнала [42].

Результаты, аналогичные представленным на рис. 16, но для RLS-алгоритма, показаны на рисунке 17. Из сравнения рисунков 16 и 17 видно, что RLS-алгоритм более эффективен как в терминах

достижимого ERLE, так и в терминах длительности переходных процессов. Причём результаты для NLMS-алгоритма (см. рис. 16) получены при значении его масштабирующего множителя шага сходимости $\hat{\mu}$, обеспечивающего наибольшее значение параметра ERLE.


Из-за представления всех сигналов в одинаковом масштабе на рисунках 16 и 17 трудно оценить уровни подавленных эхо-сигналов. Графики подавленных эхо-сигналов в увеличенном масштабе приведены на рисунке 18. Розовым цветом показан сигнал $\alpha(k) + z(k)$, т.е. наблюдаемый сигнал на выходе ошибки адаптивного фильтра, а жёлтым – подавленное эхо $\alpha(k)$. Подавление эхо-сигнала таково, что уровень остаточного эха находится ниже уровня шума, поэтому оценить качество эхо-компенсации визуально не представляется возможным. Однако при моделировании можно выделить сигнал только подавленного эха $\alpha(k)$, поскольку реализация шумового сигнала является известной.

Из рисунка 18 следует, что вычислительно более сложный RLS-алгоритм является и более эффективным по сравнению с NLMS-алгоритмом. Несмотря на то что в обоих случаях уровень подавленного эхо-сигнала сравним или даже ниже уровня шума, человеческое ухо различает подавленный эхо-сигнал в случае NLMS-алгоритма и не различает в случае RLS-алгоритма. Из рисунка 18 также следует, что RLS-алгоритм обеспечивает демонстрируемое качество (подавление эхо-сигнала и длительность переходного процесса) без подбора дополнительных параметров, в то время как качество NLMS-алгоритма зависит от параметра $\hat{\mu}$. При увеличении $\hat{\mu}$ длительность переходного процесса уменьшается, но увеличивается остаточная ошибка в установившемся режиме, и наоборот.

Таким образом, рисунки 9 – 18 демонстрируют принципы решения прямой задачи адаптивной идентификации и её приложение в задачах эхо-компенсации. Они также показывают превосходство сложных алгоритмов адаптивной фильтрации над простыми алгоритмами.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

- Hudson J.E. Adaptive array principles. England, Loughborough: Peter Peregrinus Ltd., 1981.
- Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решётки. Введение в теорию. Радио и связь, 1986.
- Журавлев А.К., Лукошкин А.П., Поддубный С.С. Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. Изд-во Ленинградского университета, 1983.
- Honig M.L., Messerschmitt D.G. Adaptive filters: structures, algorithms and applications. MA, Hingham: Kluwer Academic Publishers, 1984.
- Giordano A.A., Hsu F.M. Least square estimation with application to digital signal processing. John Wiley and Sons, 1985.
- Alexander S.T. Adaptive signal processing. Theory and applications. Springer, 1986.
- Ljung L., Soderstrom T. Theory and practice of recursive identification. MIT Press, 1986.
- Treicher J.R., Johnson C.R., Larimore M.G. Theory and design of adaptive filters. John Wiley and Sons, 1987.
- Коуэн К.Ф.Н., Грант П.М. Адаптивные фильтры. Мир, 1988.
- Уидроуб, Стурлиз С. Адаптивная обработка сигналов. Радио и связь, 1989.
- Пусталькорс А.А., Литвинов О.С. Введение в теорию адаптивных антенн. Наука, 1991.
- Adaptive system identification and signal processing algorithms. N. Kalouptsidis, S. Theodoridis, Eds. Prentice-Hall, 1993.
- Clarkson P.M. Optimum and adaptive signal processing. CRC Press, 1993.
- Zelniker G., Taylor F.J. Advanced digital signal processing: theory and applications. Marcel Dekker, 1994.
- Regalia P.A. Adaptive IIR filtering in signal processing and control. Marcel Dekker, 1995.
- Macchi O. Adaptive processing. John Wiley and Sons, 1995.
- Тараканов А.Н., Хрящев В.В., Приоров А.Л. Адаптивная цифровая обработка сигналов. Ярославль: ЯГУ, 2001.
- Bellanger M.G. Adaptive digital filters. 2nd ed. Marcel Dekker, 2001.
- Haykin S. Adaptive filter theory. 4th ed. Prentice Hall, 2001.
- Sayed A.H. Fundamentals of adaptive filtering. John Wiley and Sons, 2003.
- Adaptive signal processing: applications to real-world problems. J. Benesty, Y. Huang, Eds. Springer, 2003.
- Poularikas A.D., Ramadan Z.M. Adaptive filtering premier with MATLAB. CRC Press, 2006.
- Ogunfunmi T. Adaptive nonlinear system identification: the Volterra and Wiener model approaches. Springer Science + Business Media, 2007.
- Dzing P.S.R. Adaptive filtering algorithms and practical implementation. 3rd ed. Springer Science + Business Media, 2008.
- Sayed A.H. Adaptive filters. John Wiley and Sons, 2008.
- Makino S. Acoustic echo cancellation. IEEE Signal Processing. 1997. Vol. 14. № 5. PP. 39–41.
- Messerschmitt D. Echo cancellation in speech and data transmission. IEEE J. Selected Areas in Communications. 1984. Vol. 2. № 2. PP. 283–297.
- Qureshi S. Adaptive equalization. IEEE Communications Magazine. 1982. Vol. 20. № 2. PP. 9–16.
- Qureshi S. Adaptive equalization. Proc. of the IEEE. 1985. Vol. 73. № 9. PP. 1349–1387.
- Djigan V.I. Recursive least squares – an idea whose time has come. Proc. of the 7th Intern. Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing. Moscow, 2007. PP. 255–260.
- Джиган В.И. Многообразие алгоритмов адаптивной фильтрации по критерию наименьших квадратов. Современная электроника. 2008. № 3. С. 32–39.
- Джиган В.И. Прикладная библиотека адаптивных алгоритмов. Электроника: Наука, Технологии, Бизнес. 2006. № 1. С. 60–65.
- Солохина Т., Александров Ю., Петричкова Я. Сигнальные контроллеры компании «ЭЛВИС»: первая линейка отечественных DSP. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 7. С. 70–77.
- Treichler J., Larimore M. New processing techniques based on the constant modulus adaptive algorithm. IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing. 1985. Vol. 33. № 2. PP. 420–431.
- Widrow B. Thinking about thinking: the discovery of the LMS algorithm – DSP history. IEEE Signal Processing Magazine. 2005. Vol. 22. № 1. PP. 100–106.
- Джиган В.И., Солохина Т.В., Петричкова Я.Я. Подавление электрического эха на базе контроллеров «МУЛЬТИКОР». Электроника: Наука, Технологии, Бизнес. 2004. № 8. С. 26–33.
- Chen W.Y. Simulation techniques and standards development for digital subscriber line systems. Macmillan Technical Publishing, 1998.
- Starr T., Cioffi J.M., Silverman P.J. Understanding digital subscriber line technology. Prentice Hall, 1999.
- Huntly H.R. Transmission design of intertoll telephone trunks. Bell System Technical J. 1953. Vol. 32. PP. 1019–1036.
- Allen J.B., Berkley D.A. Image method for efficiently simulating small-room acoustics. J. Acoustic Society of America. 1979. Vol. 65. № 4. PP. 943–950.
- Digital network echo cancellers. ITU-T Recommendation G.168, 04/2000. Geneva, 2001.
- Deller J.R., Proakis J.G., Hansen G.H.L. Discrete-time processing of speech signals. Prentice Hall, 1993.
- Chen Y., Le-Ngoc T., Champagne B., Xu C. Recursive least squares constant modulus algorithm for blind adaptive array. IEEE Trans. Signal Processing. 2004. Vol. 52. № 5. PP. 1452–1456.
- Плетнева И.Д., Джиган В.И. Моделирование обработки сигналов в цифровых антенных решетках. Исследования в области цифровых систем связи (Межвузовский сборник). МИЭТ, 2007. С. 36–43. 

6-я Международная специализированная выставка «Силовая электроника и энергетика»

с 1 по 3 декабря 2009 г. в Москве на территории Конгресс-центра ЦМТ состоялась 6-я Международная выставка «Силовая электроника и энергетика» и Международная специализированная конференция «Силовая электроника – ключевая технология российской промышленности XXI в.». Ежегодно выставка проходит при поддержке Министерства образования и науки РФ, Министерства промышленности РФ, Федерального фонда развития электронной промышленности, правительства Москвы и ОАО «Российская электроника».

Новейшие российские разработки в области силовой электроники представили ведущие российские производители на коллективном стенде радиоэлектронного комплекса России, организованного при поддержке Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ.

1 декабря в рамках VI Международной выставки «Силовая электроника и энергетика» впервые состоялась специализированная конференция «Силовая электроника – ключевая технология российской промышленности XXI в.».

В период спада экономической активности во всём мире всё большее внимание уделяется развитию и применению энергосберегающих технологий. Силовая электроника относится к числу таких технологий в российской радиоэлектронной отрасли. Силовая электроника – область электроники, связанная с преобразованием электроэнергии и коммутацией силовых электрических цепей. Роль силовой электроники в настоящее время становится особенно ак-

туальной и определяется тем, что около двух третей всей вырабатываемой электроэнергии потребляется в преобразованном (по параметрам) виде.

Проведение конференции позволяет ознакомить профессиональное сообщество с разработками в области силовой электроники, которые используются в следующих отраслях промышленности: топливно-энергетический комплекс, промышленное производство, транспорт, связь и телекоммуникации, жилищно-коммунальное хозяйство и многие другие сферы промышленности.

Идея мероприятия заключается в обсуждении важнейших аспектов развития силовой электроники на профессиональном уровне с участием представителей науки, государственных структур, бизнес-сообщества и общественных организаций с целью обмена опытом и налаживания конструктивного диалога власти, науки и бизнеса.

В работе конференции приняли участие: ведущие российские и зарубежные производители электронных компонентов силовой электроники, отраслевые союзы и ассоциации, представители крупнейших предприятий российской промышленности и крупнейшие НИИ и вузы.

В рамках конференции обсуждались следующие темы:

- современное состояние технологического развития, конкурентоспособности продукции российских и зарубежных товаропроизводителей в области силовой электроники;
- перспективы развития силовой электроники на крупнейших российских предприятиях;

- законодательное обеспечение электронной отрасли;
- особенности подготовки высококвалифицированных специалистов в области электроники;
- новые технологии силовой электроники в области энергосбережения;
- новая электронная компонентная база и её применение в устройствах силовой электроники;
- электрооборудование электромеханических трансмиссий различных транспортных средств;
- перспективы развития сверхмощных кремневых силовых полупроводниковых приборов;
- микроэлектронные решения для силовой электроники;
- технология высоковольтных полупроводников.

В рамках конференции были продемонстрированы инновационные достижения науки для важнейших отраслей промышленности, а также технологии и продукция российских и зарубежных компаний в области силовой электроники и энергетика.

В конференции приняло участие более 100 специалистов, а традиционные семинары компаний посетили около 400 компаний. За годы организации и проведения выставки была создана уникальная база данных по предприятиям и организациям различных отраслей промышленности, использующих разработки и оборудование силовой электроники во всех регионах России и это делает мероприятие широкомасштабным с точки зрения географии участников.



Семинар компании Mentor Graphics

27 ноября в отеле Marriott Grand состоялся очередной семинар компании Mentor Graphics по проектированию и верификации систем на кристалле. Семинар был организован дистрибьютором Mentor Graphics, компанией Megratec. Присутствовало около 70 человек от 32 компаний. Это уже четвёртый семинар по данной тематике.

На семинаре был представлен весь комплекс средств проектирования и верификации систем на кристалле – от концептуального уровня до подготовки производства и постпроизводственного тестирования. С обзорным докладом выступил технический директор по европейскому региону – Бенуа Грете́ре (Benoit Gretere). Ведущий специалист Mentor Graphics, Жан-Мари Сент-Поль (Jean-Marie Saint-Paul), сделал доклады по проектированию систем, критичных с точки зрения безопасности (DO-254), а также по системному уровню проектирования и верификации (ESL – Electronic System Level). Вопросы проектирования и верификации на RTL-уровне были представлены Алексеем Рабоволоком, ведущим специалистом Megratec. Направ-

ление тестирования и диагностики СБИС осветил Иван Селиванов (Megratec). Вторая часть семинара была посвящена вопросам физического проектирования и верификации. Физический синтез, размещение и трассировка, а также DRC/LVS-верификация, экстракция паразитных параметров и DFM были рассмотрены в презентациях Люка Тиссо (Luc Tissot). Вопросы оптической коррекции, моделирования фотолитографии и подготовки фотошаблонов были представлены Оливье Тубланом (Olivier Toublan).

В целом было отмечено, что Mentor Graphics лидирует по таким направлениям, как верификация топологии, повышение технологичности и выхода годных, оптическая коррекция и подготовка фотошаблонов (платформа Calibre), тестирование, диагностика и анализ выхода годных (платформа Tessent/DFT – FastScan, TestKompres, LBIST, MBIST, Tessent YieldInsight/SiliconInsight), функциональная верификация на системном и RTL-уровне (платформы Vista, Questa, Questa-ADMS, 0-In, InFact, Veloce), разработка встроенного программного обеспече-

ния (платформы Nucleus, EDGE). В настоящее время сквозной маршрут проектирования СБИС Mentor Graphics сертифицирован для 28 нм. Совместно с компанией IBM ведётся разработка новых методов повышения разрешающей способности на основе вычислительных алгоритмов, что позволит выйти на нормы 22 нм и ниже.

В заключительном выступлении директор российского дистрибьютора – компании Megratec – Андрей Лохов, рассказал о текущих успехах и дальнейших планах по продвижению продукции Mentor Graphics на российском рынке. Важной характеристикой продуктов Mentor Graphics является их «масштабируемость», т.е. способность предложить решения любого уровня – от дорогих, высокотехнологичных, до бюджетных. В частности, было предложено несколько относительно недорогих базовых решений для отечественных дизайн-центров, оптимальных по критерию стоимость/функциональные возможности.

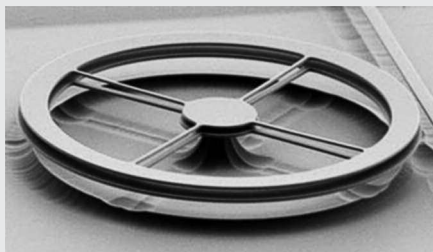
С содержанием презентаций можно ознакомиться на сайте компании Megratec – www.megratec.ru.

Новости мира News of the World Новости мира

Оптические резонаторы перемещают нанообъекты

Исследователи из Корнельского университета заявили о создании оптического резонатора, способного оказывать относительно сильное воздействие на объекты микромира. Ожидается, что оптический нанорезонатор можно будет использовать для усовершенствования конструкций микроэлектромеханических (micro-electromechanical systems, MEMS) и микрооптомеханических (micro-optomechanical systems, MOMS) систем. Учёные считают, что с применением светового луча мощностью порядка нескольких милливатт можно будет не только перемещать объекты, но также изменять оптические свойства кремниевых структур в наномасштабе от непрозрачности к прозрачности.

Как и другие электромагнитные волны, свет может быть описан как сочетание электрического и магнитного полей, колеблющихся в перпендикулярном направлении и формирующих периодические мак-



симумы и минимумы потенциальной энергии. Хотя эти колебания весьма слабы, всё же они могут влиять на перемещение наночастиц, «сталкивая» их в точки минимумов энергии и за счёт этого равномерно распределяя их по поверхности. Этот принцип используется в «оптических пипетках» или, реже, в «акустических пипетках» для распределения мелких частиц предопределённым способом.

В то же время, для использования в подобных устройствах требуются источники света значительной мощности. Созданная в Корнеле наноконструкция, по мнению её изобретателей, должна помочь в решении данной проблемы. Она представляет собой «кольцевой резонатор», образован-

ный двумя волноводами, длина окружности которых кратна длине используемого светового излучения. Два световых потока небольшой мощности, проходя через резонатор, за счёт взаимодействия друг с другом могут вызывать относительно сильное отталкивание или притяжение, в зависимости от того, будут ли они совпадать по фазе или находиться в противофазе между собой.

Ширина волноводов составляет три микрона, толщина – 190 нм, и они расположены на расстоянии микрона друг от друга. Эффект отталкивания может быть использован в MEMS-устройствах с движущимися частями, в которых существует проблема «склеивания» кремниевых компонентов между собой. Резонатор может «удерживать» их на оптимальном расстоянии, тем самым повышая эффективность работы системы. Изобретение может найти место и в MOMS-устройствах, например, для создания настраиваемых фильтров для определённой длины волны.

www.gizmag.com

Решения

Взрывозащита

Искробезопасный интерфейс

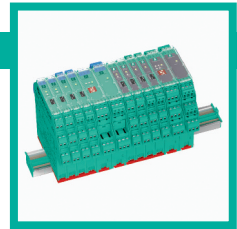
Более полувека Pepperl+Fuchs (подразделение Process Automation) предлагает новые концепции для мирового рынка промышленной автоматизации, устанавливает новые стандарты качества, создаёт и внедряет передовые технологии. Подразделение разрабатывает, производит и поставляет на мировой рынок электронные интерфейсные модули, взрывозащищённое оборудование и средства человеко-машинного интерфейса, учитывающие требования самых ответственных отраслей промышленности.

Номенклатура продукции подразделения промышленной автоматизации

- Нормализаторы сигналов
- Искробезопасные интерфейсные компоненты
- Выносные интерфейсы для сопряжения с производственной установкой
- Искробезопасные решения для промышленных сетей
- Средства операторского интерфейса для взрывоопасных зон

Отрасли промышленности, в которых применяется продукция компании

- Химическая промышленность
- Фармацевтическая промышленность
- Нефтехимия
- Нефтегазовая промышленность
- Энергетика



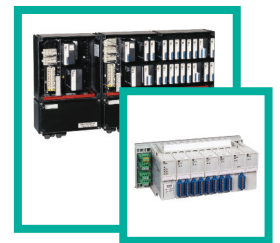
Искробезопасные нормализаторы сигналов с гальванической изоляцией серии K

Компактный монтаж на DIN-рейку или силовую рейку (Power Rail). Аналоговые и дискретные модули с питанием от сетей постоянного и переменного тока снабжены съёмными соединительными колодками. Модули KCD с шириной 12,5 мм экономят до 40% объёма в шкафу.



Барьеры искрозащиты на стабилизаторах серий μ Z600, Z и SB

Разработаны с учётом использования в большинстве задач, связанных с обеспечением искробезопасности. Основные особенности: монтаж на DIN-рейку и монтажную плату (серия SB), низкая стоимость, наличие сменяемых предохранителей, одно- и двухканальное исполнение.



VisuNet – платформа для создания человеко-машинного интерфейса во взрывоопасных зонах

Взрывозащищённые персональные компьютеры VisuNet PC и операторские мониторы VisuNet RM предназначены для создания ЧМИ систем управления. Информация, отображаемая на экране монитора, передаётся через стандартную сеть Ethernet на основе протокола обмена данными TCP/IP, что делает это решение удобным для систем сбора и обработки данных.



Серия HiD/HiC2000

Барьеры искрозащиты с гальванической развязкой предназначены для установки на монтажные платы. Барьеры HiC2000 имеют ширину 12,5 мм.

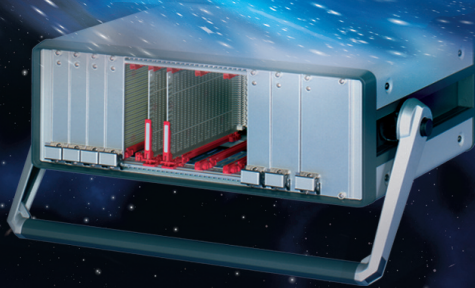
Системы удалённого ввода/вывода серий LB/FB

Обеспечивают сбор информации от датчиков, преобразование в цифровые значения и передачу данных по промышленной сети PROFIBUS-DP. Предназначены для установки в зонах класса 1 (серия FB) и класса 22 (серия LB).

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ PEPPERL+FUCHS В РОССИИ

Полная линейка приборных корпусов

Технология EuroPRO —
ГАЛАКТИКА
ВОЗМОЖНОСТЕЙ



ComproPRO

Простой и удобный переносной корпус

- Разнообразные конфигурации
- Идентичные передняя и задняя рамки
- Простота сборки – компоненты фиксируются с внешней стороны
- Высокая прочность и надежность
- Привлекательная цена

ProproPRO

Прочный переносной корпус с системой электромагнитного экранирования

- Разнообразные конфигурации
- Привлекательный дизайн
- Прочная литая передняя рамка
- Возможность электромагнитного экранирования
- Может использоваться для медицинского оборудования

RatioproPRO

Универсальный корпус для любых применений

- Настольное, переносное или стоечное исполнение
- Произвольные размеры и разнообразные конфигурации
- Возможность электромагнитного экранирования
- Эффективные системы охлаждения

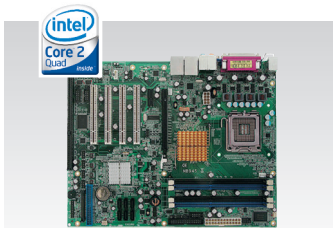
Там, где живёт интеллект



- Гарантия - 2 года
- Рабочая температура 0...60°C
- Производство и поддержка - 5 лет
- Сторожевой таймер, монитор состояния
- Многоуровневое выходное тестирование

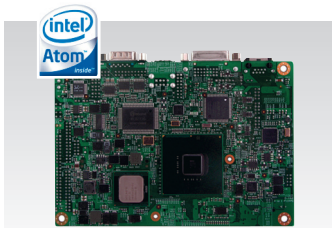
ПРОЦЕССОРНЫЕ ПЛАТЫ И КОРПУСА для промышленных ПК и встраиваемых систем

iBASE



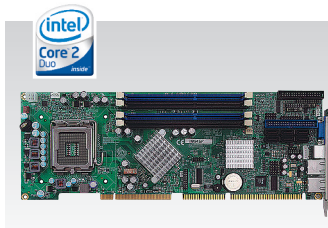
MB945

- Чипсет Intel Q45+ICH10D0
- ЦП Core 2 Quad, шина 1333 МГц
- До 16 Гбайт DDR3
- 2 PCI-E (x16, x1), 4 PCI, 1 ISA
- 4 COM, 12 USB
- Форм-фактор ATX



IB888

- Чипсет Intel Poulsbo XL US15WP
- ЦП ATOM Silverthorne XL 1,1 ГГц
- Видео DVI + LVDS 24 бит
- 4 COM, 8 USB 2.0
- Рабочая температура -40...+70°C
- Форм-фактор 3.5" SBC



IB945

- Чипсет Intel Q45+ICH10D0
- ЦП Core 2 Quad, шина 1333 МГц
- 6 SATA 300, IDE, FDD
- 8 USB, RS-232, RS-232/422/485
- PICMG 1.0 (ISA + PCI)



CSB200-888

- ЦП ATOM Silverthorne XL 1,1 ГГц
- До 2 Гбайт DDR2 SODIMM
- 6 USB, RS-232, RS-232/422/485
- DVI, Gigabit Ethernet
- Внешний CompactFlash
- Размеры: 190x132x30 мм, VESA

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ iBASE В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

PROSOFT®

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru
САМАРА Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КИЕВ Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru
УФА Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • E-mail: info@ufa.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КАЗАНЬ Тел.: (843) 291-7555 • Факс: (843) 570-4317 • E-mail: info@kzn.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ОМСК Тел.: (3812) 286-521 • E-mail: omsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЧЕЛЯБИНСК Тел.: (351) 239-9360 • E-mail: chelyabinsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КРАСНОДАР Тел./факс: (861) 224-9513 • E-mail: krasnodar@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru