

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

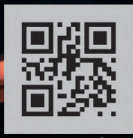
1
2015



В номере:

- Аэрокосмические энергетические системы
- Преимущества FPGA с технологией Tri-Gate
- Сверхширокополосные ответвители для СВЧ
- Контроллер замка с датчиком отпечатков пальцев
- Расчёт параметров цифровых фильтров НЧ
- Робототехника и встраиваемые системы

и многое другое



www.soel.ru



ФАВОРИТ. Фактор качества. Факт успеха.

Комплексные поставки электронных компонентов специального, двойного и общего назначения

Второй поставщик в системе «ВОЕНЭЛЕКТРОНСЕРТ».

Поставка ЭК отечественного производства категорий качества ОТК, ВП, ОСМ, ОС.

Поставка ЭК иностранного производства с предоставлением гарантий качества, проведением сертификационных испытаний по оценке соответствия требованиям нормативных документов Минобороны РФ.



«Фаворит – Электронная Компания»

WWW.FAVORIT-EC.RU тел./факс: +7(495) 627-76-24

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Республике Беларусь, г. Минск
Тел.: +375 (17) 207-01-85
info@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Санкт-Петербурге
Тел.: +7 (812) 449-92-15
www.spbnek.ru • spb@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Нижнем Новгороде
Тел.: +7 (910) 886-80-60
alexandra@favorit-ec.ru

Реклама

Наши решения не просто соответствуют стандартам.

Стандарты создаются с нашим участием.

Инженеры Keysight, специализирующиеся на DDR, – одни из лучших в мире. Доказательства? Наши инженеры участвуют в разработке стандартов памяти DDR нового поколения, а также средств их отладки. Это значит, что в будущем, когда перед вами встанут задачи по разработке устройств с новейшими модулями памяти, мы будем рады поделиться с вами своими знаниями и опытом. Мы также можем быстро интегрировать требования новых стандартов в наше аппаратное и программное обеспечение. Так что вы будете вооружены самыми передовыми решениями, как только вам они потребуются.

HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = DDR INSIGHTS

Совет директоров комитетов по стандартизации JEDEC и UFS

Председатель комитета Цифровой логики комитета JEDEC (JC40.5) и комитетов по стандартам UFS

Сотни инженеров в 100 странах по всему миру

Тысячи патентов, выданных за всю историю компании Keysight

Реклама



Unlocking Measurement Insights

Закажите DVD-диск с материалами
по DDR 2015

www.keysight.com/find/HSD-insight



8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

Главный редактор

Алексей Смирнов

Заместитель главного редактора

Александр Хлынов

Редакционная коллегия

Александр Балакирев, Андрей Данилов,
Виктор Жданкин, Эрмин Машурян,
Сергей Сорокин, Андрей Туркин,
Рифат Хакимов

Литературный редактор

Ольга Семёнова

Вёрстка

Марина Петрова

Обложка

Дмитрий Юсим

Распространение

Ирина Лобанова
(info@soel.ru)

Реклама

Ирина Савина
(advert@soel.ru)

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



Производственно-практический 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 партнёров
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации
Цена договорная

Отпечатано: ООО ПО «Периодика»

Адрес: 105005, Москва, Гарднеровский пер.,
д. 3, стр. 4
http://www.printshop13.ru

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, 2014

1/2015 Contents

MARKET

Russian Market News	4
The CAD Market of Electronic Devices: from Fragmentation to a Holistic Approach	10

ROBOTECHNICS

Robotics and Embedded Systems	14
<i>Andrey Antonov</i>	

MODERN TECHNOLOGIES

Trends in the Development of Aerospace Power Systems with Laser Energy Transmission Channels. Part 1	18
<i>Aleksandr Sigov, Vladimir Matyukhin</i>	
The Breakthrough Advantage for FPGAs with Tri-Gate Technology	26
<i>Ryan Kenny, Jeff Watt</i>	
Available Charging	30
<i>Aleksandr Khlynov</i>	
What Automated Solution is Better?	34
<i>Wee Sheng Yong</i>	

ELEMENTS AND COMPONENTS

Modern 32-bit ARM Microcontrollers Series STM32: Serial Interface I²C	38
<i>Oleg Val'pa</i>	

DEVICES AND SYSTEMS

Broadband Directional Couplers for Microwave Band	44
<i>Philip Mikheev, Sergey Pavlov, Vladimir Semibratov, Vadim Shurov</i>	

ENGINEERING SOLUTIONS

The Electronic Lock Controller with Fingerprint Sensor	48
<i>Pavel Red'kin</i>	

DESIGN AND SIMULATION

Formalization of the Problem of Increasing the Information Transmission Speed on Automated Systems Radio Channels	56
<i>Vladimir Filatov, Victor Sivov</i>	
Designing Custom Circuits in the LeonardoSpectrum Synthesizer	58
<i>Nicholay Avdeev, Petr Babilo</i>	
A New Method of Parameters Digital Low-Pass Filters Calculation	62
<i>Nikolay Zakharov</i>	

EVENTS

Let there Be Light! LEDs and Energy Efficiency	70
Robotics Expo 2014 – 3 Days of Unforgettable Impressions	74
Lev Danilov	76
<i>Petr Novysh</i>	

COMPETENT OPINION

About the Substitution of Foreign Electronic CAD	80
<i>Yurii Elshin</i>	

Содержание 1/2015

РЫНОК

- 4 **Новости российского рынка**
10 **Рынок САПР электронных устройств: от разрозненности к целостному подходу**

РОБОТОТЕХНИКА

- 14 **Робототехника и встраиваемые системы**
Андрей Антонов

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 18 **Тенденции развития аэрокосмических энергетических систем с лазерными каналами передачи энергии. Часть 1**
Александр Сигов, Владимир Матюхин
26 **Преимущества FPGA с технологией Tri-Gate**
Райан Кенни, Джефф Ватт
30 **Доступная зарядка**
Александр Хлынов
34 **Какое автоматизированное решение лучше?**
Ви Шенг Йонг

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 38 **Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: последовательный интерфейс I²C**
Олег Вальпа

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 44 **Сверхширокополосные направленные ответвители для диапазона СВЧ**
Филипп Михеев, Сергей Павлов, Владимир Семибратов, Вадим Щуров

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 48 **Контроллер электронного замка с датчиком отпечатков пальцев**
Павел Редькин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 56 **Формализация задачи повышения скорости передачи информации по каналам радиосвязи автоматизированных систем**
Владимир Филатов, Виктор Сивов
58 **Эффективность проектирования заказных схем в синтезаторе LeonardoSpectrum**
Николай Авдеев, Пётр Бибило
62 **Новый метод расчёта параметров цифровых фильтров нижних частот**
Николай Захаров

СОБЫТИЯ

- 70 **Пусть будет свет! Светодиоды и энергоэффективность**
74 **Robotics Expo 2014 – 3 дня незабываемых впечатлений**
76 **Лев Данилов**
Пётр Новыш

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

- 80 **Об импортозамещении электронной САПР**
Юрий Ёлшин

ПОДПИСКА 2015



Концепция распространения журнала – бесплатная подписка для специалистов. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление на каждый последующий год. Редакция напоминает о необходимости продления подписки на 2015 год. Всё больше подписчиков сообщают нам о фактах пропажи журнала на почте или из почтового ящика. Редакция гарантирует только отправку журнала бесплатному подписчику, но не может гарантировать его доставку. Риск пропажи журнала можно уменьшить. Во-первых, можно обратиться в отдел доставки вашего почтового отделения и оформить получение журнала до востребования. Во-вторых, можно оформить платную подписку на журнал, и в этом случае почта будет нести ответственность за его доставку.

ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА

Преимущества:

- подписаться может любой желающий, тогда как бесплатная подписка оформляется только для специалистов в области электроники. Поступающие в редакцию подписные анкеты тщательно обрабатываются, и часть их отсеивается;
- журнал будет гарантированно доставлен, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- эту подписку могут оформить иностранные граждане.

«Роспечать»

Оформить платную подписку можно в почтовом отделении через агентство «Роспечать». Тел.: (495) 921-2550. Факс: (495) 785-1470

Подписаться можно как на 6 месяцев, так и на год. Подписные индексы по каталогу агентства «Роспечать»:

на полугодие – **46459**, на год – **36280**.

Кроме того, можно оформить платную подписку через альтернативные подписные агентства.

«Урал-Пресс»

Тел.: (495) 961-2362
<http://www.ural-press.ru>

Читатели из дальнего зарубежья

могут оформить подписку через агентство

«МК-Периодика»

Тел.: +7 (495) 672-7012
Факс: +7 (495) 306-3757
info@periodicals.ru

Новости российского рынка

СОБЫТИЯ

Компания «Родник» представила решения для Северо-западного региона

В конце октября 2014 года специалисты компании «Родник» приняли участие в международных выставках «Автоматизация» и «РАДЭЛ» в Санкт-Петербурге.

В рамках этих выставок состоялась презентация решений НПП «Родник» для Северо-западного региона. Мероприятие было приурочено к трёхлетию офиса компании в Санкт-Петербурге и собрало заказчиков, которые ни один год сотрудничают с «Родником».

С приветственным словом к собравшимся обратился генеральный директор Юрий Кириллов. Он вспомнил историю создания компании, рассказал об основных направлениях деятельности сегодня и о крупных международных проектах, реализованных специалистами компании. Одним из важных направлений деятельности «Родника» практически с момента основания остаётся продвижение на российском рынке лучших систем автоматизированного проектирования электронных устройств.

Уже более двадцати лет специалисты компании «Родник» оказывают помощь поль-

зователям в переходе со старых неэффективных систем проектирования на самые современные. Флагманский продукт «Родника» – Altium Designer – наиболее оптимальное решение для специалистов, которые разрабатывают конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД.

Комплексный пакет Altium Designer представляет собой мощную и многофункциональную среду разработки на базе печатных плат и ПЛИС, пришедшую на смену P-CAD и теперь по праву считающуюся стандартом для проектирования печатных плат на территории России. Altium Designer позволяет разработчикам вести совместную работу над проектами, начиная с создания принципиальной схемы до подготовки проектов к производству.

Данный пакет может быть представлен в виде двух конфигураций: рабочего места разработчика-схемотехника и инженера-конструктора. Набор конфигурации определяется типом приобретённой лицензии.

Сегодня заказчикам «Родника» предлагается не только полная методология перехода со старых систем проектирования, оказывается помощь в экспорте уже существующих проектов, но и производится



переобучение персонала. При этом специалистам предлагается дополнительное ПО, позволяющее разрабатывать конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД без использования третьих программ.

В дополнение к этому пользователям предлагается система для хранения данных Altium Vault. Интеллектуальные технологии Altium Vault позволяют разработчикам управлять версиями, проектными данными, контролировать жизненный цикл компонентов и анализировать их использование в различных проектах. Вместе с тем Vault обеспечивает взаимодействие с цепочками поставок, предоставляя пользователям актуальную информацию о наличии компонентов, необходимых для выполнения проекта.

Всё это позволяет обеспечить эффективную работу над проектами, которые ведутся на российских предприятиях.

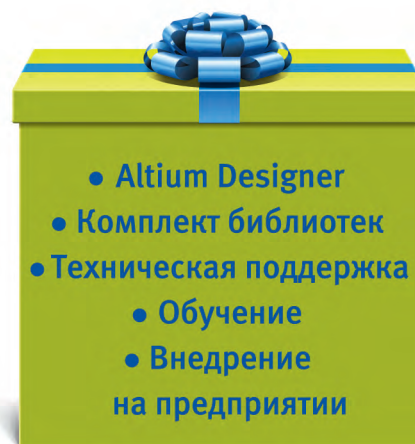
www.rodnik.ru



**Внедрение САПР - дело непростое.
Хотите купить не просто диск, а сразу получить систему,
готовую к эффективному использованию?**

Altium Designer

от НПП «Родник»:
Все включено!



- Altium Designer
- Комплект библиотек
- Техническая поддержка
 - Обучение
 - Внедрение на предприятии

Altium

Реклама

С 1991 года
РОДНИК
СИСТЕМНЫЙ ИНТЕГРАТОР

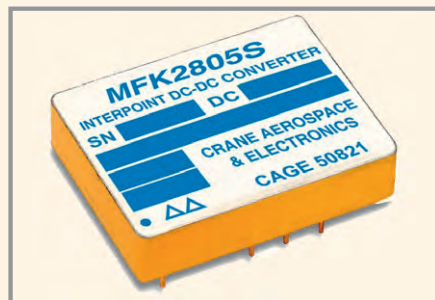
Тел.: +7 (499) 613-7001, www.rodnik.ru

Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

25-ваттные DC/DC от Crane Electronics для авиакосмических применений

Компания Crane Aerospace & Electronics (поставляет изделия под торговой маркой Interpoint®) объявила о начале выпуска высоконадёжных DC/DC-преобразователей серии MFK.



Новая серия MFK включает одно- и двухканальные DC/DC-преобразователи с выходными мощностями до 25 Вт с выходными напряжениями – 1,8; 2,5; 3,3; 5; 12; 15 и 28 В и ± 5 ; ± 7 ; ± 12 и ± 15 В.

Расположение выводов и габаритные размеры новых модулей соответствуют параметрам модулей популярной серии MNF+ (у одноканального исполнения MFK несколько иное расположение выводов).

В контуре обратной связи для гальванической развязки применяется трансформатор (в модулях серии MNF+ для этой цели применяется оптопара). Улучшена стойкость к воздействию импульсов напряжения: новые модули выдерживают воздействие импульсов с амплитудой 65 В и длительностью 1 с. Максимальное значение КПД составляет 87%, причём значение КПД не изменяется от нагрузки в области малых и максимальных нагрузок.

Предлагаются модели с крепёжными фланцами и без фланцев. Доступны модели с различным набором отбраковочных процедур: стандартный, /ES, 883. Будет доступно также исполнение SX (без оформленной SMD). Стоимость модулей серии MFK сопоставима со стоимостью моделей серии MNF+.

Модули серии MFK не требуют оформления разрешения в контролирующих экспорт государственных ведомствах США.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

50-ваттные DC/DC серии MFX для бортовой аппаратуры авиационно-космической техники

Компания Crane Aerospace & Electronics (поставляет продукцию под торговой

маркой Interpoint®) продемонстрировала перспективные высокоэффективные DC/DC-преобразователи серии MFX, предназначенные для бортовой сети 28 В (диапазон входных напряжений 16...50 В).

С целью максимизации КПД при работе в широком диапазоне токов нагрузки применяется режим синхронного переключения, при котором демпферный диод понижающего регулятора заменяется коммутируемым транзистором. Это позволяет повысить на несколько процентов КПД при больших токах.

Новые модули преобразователей напряжения характеризуются значением КПД более 90%. Энергетическая плотность модулей составляет 54 Вт/дюйм³ (примерно 3190 Вт/дм³).

В настоящее время предлагаются одно- и двухканальные модели с выходными напряжениями +3,3 и +5 В с функцией регулировки в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального значения. В перспективе планируются к выпуску модели и с другими номиналами напряжений, а также двухканальные модели.



Модули выдерживают воздействие импульсов напряжения на входе с амплитудой 80 В длительностью 1 с. В контуре обратной связи применяется трансформаторная развязка. Обширный набор сервисных функций обеспечивает работу модулей в составе комплексов радиоэлектронной аппаратуры и электронных приборов.

Диапазон рабочих температур от -55 до $+125^\circ\text{C}$ (температура корпуса). При этом обеспечивается полная мощность в нагрузке.

Масса корпуса (без крепёжных фланцев) не более 44 г.

Стоимость новых модулей сопоставима с ценой 30-ваттных модулей серии MTR.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

Изделия Interpoint® выбраны JPL для миссии Mars 2020

Компания CRANE Aerospace & Electronics заключила многомиллионный контракт с научно-исследовательским центром NASA «Лаборатория реактивного движения» на поставку модулей преобразовате-

лей напряжения для космической программы «Mars 2020».

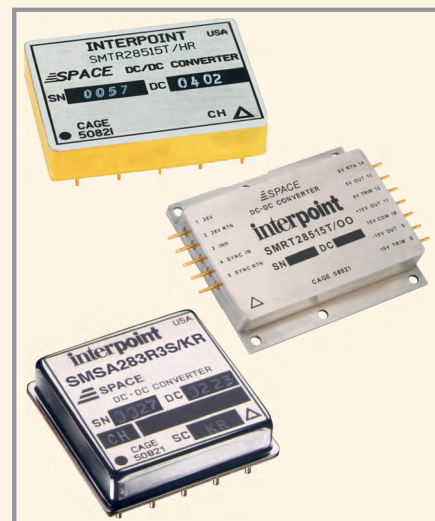
Лаборатория реактивного движения (JPL) будет применять ряд радиационно-стойких DC/DC-преобразователей и помехоподавляющих фильтров Interpoint, включая популярные модели серии SMRT, которые отличаются наличием на входе встроенного помехоподавляющего фильтра, независимыми выходными каналами и функцией регулировки выходного напряжения. Также в проекте будут применяться модули преобразователей Interpoint серий SLH, SMSA, SMHF, SMTR и SMFL, а также три модели фильтров.

В основу проекта «Mars 2020» лягут достижения миссии Curiosity и других марсианских программ. В исследовательских аппаратах Opportunity, Spirit и Curiosity применялись все радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи Interpoint, сертифицированные для применения в космической аппаратуре.

Подразделение CRANE Power Solutions предлагает изделия силовой электроники под торговыми марками ELDEC®, Interpoint® и Keltec®: распределённые системы электропитания и батарейные системы для авиакосмической промышленности, связи, радарного и навигационного оборудования и др.

Преобразователи Interpoint производятся с различными уровнями гарантированной радиационной стойкости (RHA) вплоть до уровня суммарной накопленной дозы 100 крад (Si) как при высоких, так и при низких мощностях дозы ионизирующего излучения.

В последнее время на российском рынке ощущались трудности с поставкой специализированных компонентов для аэрокосмической промышленности. Для ввоза в Россию радиационно-стойких преобразователей напряжения (классификацион-



Новости российского рынка

ный номер экспортного контроля ECCN 9A515.e), согласно новым правилам экспортного регулирования, требуется оформление экспортной лицензии (в настоящее время оформление лицензий на поставку вообще приостановлено). Однако это правило действует только в том случае, когда пороговое значение линейных потерь энергии (ЛПЭ) при воздействии заряженных частиц, вызывающих одиночные сбои, превышает 80 МэВ·см²/мг и одновременно

но значение суммарной накопленной дозы превышает 100 крад (Si).

Радиационно-стойкие модули с нормируемым значением поглощённой дозы 30 крад (Si) могут поставляться без оформления лицензии Министерством Торговли США. Необходимо отметить, что при квалификационных испытаниях изделий Interpoint на стойкость к воздействию ионизирующего излучения по дозовым эффектам достигается суммарная накопленная доза 45 крад (Si),

что позволяет уверенно гарантировать значение суммарной накопленной дозы 30 крад (Si), при котором изделие продолжает функционировать без снижения электрических параметров. При этом все радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи Interpoint характеризуются весьма высокой стойкостью к воздействию заряженных частиц: ЛПЭ до 85,0...86,5 МэВ·см²/мг.

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-0636

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Новый демодизайн по SERDES – протокол EPCS

Новые семейства микросхем корпорации Microsemi SmartFusion2 и IGLOO2 обладают встроенными высокоскоростными блоками SERDES (Serializer/Deserializer), которые поддерживают обмен данными на скорости 5 Гбит/с.

Блок высокоскоростных последовательных интерфейсов (SERDESIF) поддерживает множество стандартов последовательной передачи данных. Благодаря данному блоку ПЛИС на аппаратном уровне поддерживает такие последовательные протоко-

лы, как PCIe и XAUI. Режим EPCS (extended physical code sub-layer) предоставляет матрице ПЛИС прямой доступ к линиям SERDES, минуя логику PCIe и XAUI, предоставляя, таким образом, разработчику возможность использовать собственный высокоскоростной последовательный протокол.

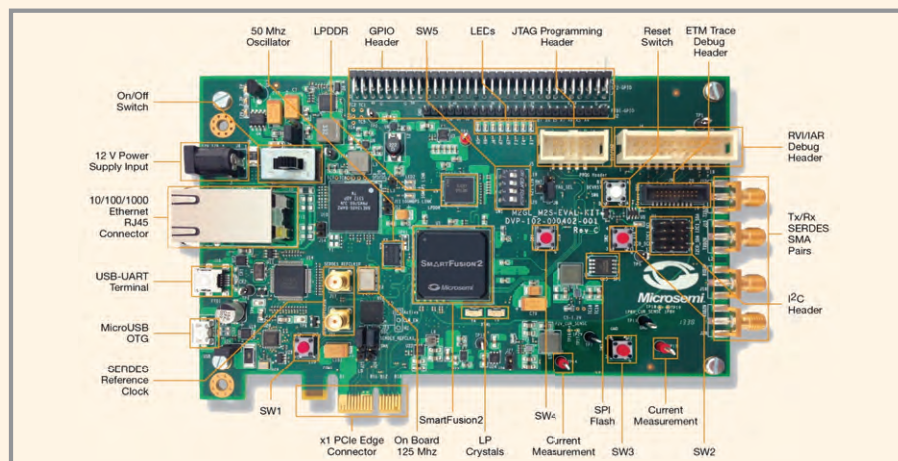
Новое руководство демонстрирует использование SERDES в IGLOO2 / SmartFusion2 в режиме EPCS.

Данное руководство может быть использовано с обоими семействами, так как рассматриваемые блоки не отличаются. Для демонстрации используются последняя версия среды разработки Libero 11.4 и Evaluation Kit для IGLOO2 / SmartFusion2.

Скачать руководство можно по ссылке http://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/134528-implementing-a-smartfusion2-igloo2-serdes-epcs-protocol-design-libero-soc-v11-4-tutorial

www.favorit-ec.ru

Тел./факс: (495) 627-7624



Выпуск SmartFusion2 Security Evaluation Kit

Корпорация Microsemi представляет новую отладочную платформу Smart Fusion2 Security Evaluation Kit (M2S090S-EVAL-KIT) с кристаллом M2S090TS-FGG484, созданную на основе SmartFusion2 Evaluation Kit.

Кристалл CNK M2S090TS-FGG484 помимо матрицы ПЛИС объёмом 090K логических ячеек, имеет расширенные средства защиты.

SmartFusion2 Security Evaluation Kit значительно упрощает разработку высокона-

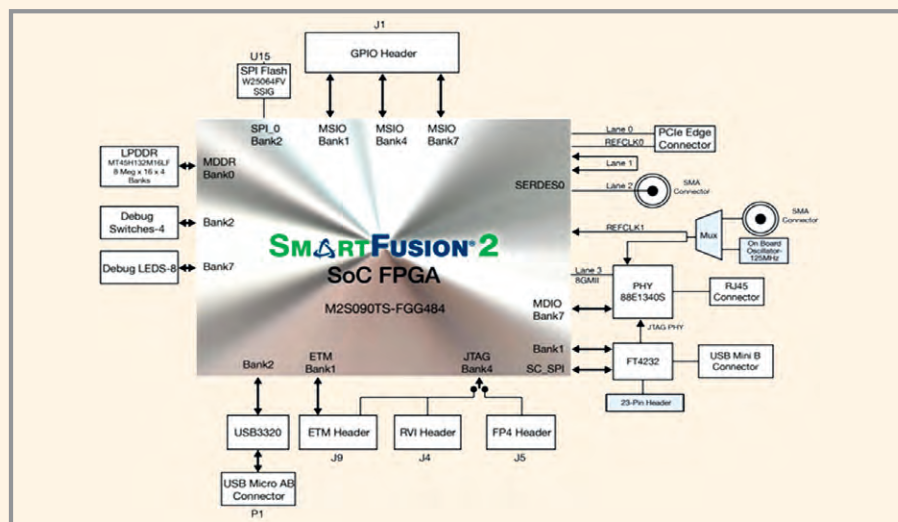
дёжных встраиваемых систем и предоставляет решения для защиты дизайна (если необходима защита интеллектуальной собственности), содержащейся в конфигурации, и защиты данных (если необходимо защитить прикладные данные). Разработчику предлагается оценить средства защиты SmartFusion2:

- эллиптическая криптография (Elliptic Curve Cryptography);
- физически неклонируемые функции (Physically Unclonable Function);
- генератор случайных чисел (Random Number Generator);
- алгоритмы AES/SHA;
- защита от взлома (Anti-tamper).

Ознакомиться с набором можно по ссылке: <http://www.microsemi.com/products/fpga-soc/design-resources/dev-kits/smartfusion2/sf2-evaluation-kit#documentation>.

www.favorit-ec.ru

Тел./факс: (495) 627-7624



Новости российского рынка

Отладочная платформа HELPER

Компания LDM-SYSTEMS выпустила в продажу уникальную разработку – мультиплатформенную отладочную систему **HELPER** (помощник).

Данное отладочное средство предназначено как для изучения основ работы с микроконтроллерами, микропроцессорами или программируемой логикой, так и для решения задач управления внешней аппаратурой и обработки сигналов.

Отладочный комплект построен таким образом, чтобы каждый смог собрать себе именно ту конфигурацию, которая наиболее приемлема по функциональным возможностям и цене.

Некоторые отличительные особенности

1. Отладочный комплект семейства **HELPER** можно разделить на два функциональных блока:

1) базовая плата Main Board (материнская плата) – она может быть простой или сложной, маленькой или большой, содержать в себе лишь периферийные блоки или иметь в своём составе программируемые элементы, дополнительные модули или устройства, но самой важной её функцией является возможность сопряжения модулей с аппаратурой потребителя.

На базовой плате устанавливаются:

- мощные импульсные источники питания до 2 А;
- приборы отображения аудио- и видеoinформации. Это могут быть цветные или монохромные, графические или матричные индикаторы, светодиоды или светодиодные модули, VGA-интерфейс, излучатель звука;
- органы управления. Разъёмы для подключения мыши и клавиатуры, инкрементальный или оптический энкодер, кнопки и переключатели. Разъёмы и обвязка для

интерфейсов Ethernet, USB Host 2.0, USB Device 2.0, USB-UART, RS-232, RS-485, CAN, PS/2, аудиовход x2, аудиовыход x2, микрофонный вход x2.

На текущий момент доступна базовая плата среднего уровня сложности LDM-HELPER-MB501-FULL (габаритные размеры 160 × 170 × 25 мм). Она поставляется в полной или опциональной комплектации – «Бери что надо». На рисунке 1 представлен внешний вид устройства.

2) модули. Они подразделяются на три основные категории:

I. Master-модуль – это плата, на которой установлен программируемый элемент, управляющий внешними устройствами, подключаемыми к модулю посредством цанговых разъёмов, установленных по периметру платы.

На текущий момент поступили в продажу две Master-платы: на одной установлен МК K1986BE1QI со встроенным 10/100(MAC+PHY) (ЗАО «ПКК Миландр» – см. рис. 2), на другой – мультиклеточный процессор МСр042R100102-1-LQ256I (ОАО «Мультиклет» – см. рис. 3).

Габариты Master-модуля (130 × 74 × 8 мм) выбраны таким образом, что его основным элементом может стать как МК/МП/ПЛИС в малогабаритном пластиковом корпусе, так и чипы в больших металло-керамических корпусах. Кроме того, габариты платы позволяют разместить на ней всю необходимую обвязку. Платы будут выпускаться в опциональном оснащении.

В ближайшем будущем будут окончательно протестированы и выпущены в продажу новые Master-модули на основе как отечественных микросхем, так и зарубежных, промышленного или специального назначения.

II. Slave-модуль – плата, основным предназначением которой является расширение возможностей Master-модулей.



Это могут быть как приёмопередатчики различных интерфейсов (включая радиочастотные), контроллеры управления двигателями средней мощности, навигационные модули, а также многое-многое другое, включая приборы отображения информации (дисплеи или светодиодные индикаторы).

III. Переходники – это небольшие платы, которые содержат в себе один 20-контактный цанговый разъём. Они позволяют путём наращивания разнести Master- и/или Slave-модули по высоте.

2. Возможность последовательного вертикального или горизонтального наращивания функциональности путём установки дополнительных Slave-модулей.

3. В случае, когда потребление Master-модулей незначительное (меньше 100 мА), сами Master-модули могут работать без базовой платы в качестве встраиваемых устройств, позволяя также работать с дополнительными Slave-модулями.

4. Совместимость. Master-модули могут быть абсолютно разными. Это могут быть различные варианты на микроконтроллерах или ПЛИС самых разных производителей, при этом одна и та же Базовая плата совместима со всеми модулями, что особенно хорошо подойдёт, например, в процессе обучения, освоения или сравнения между собой элементной базы.

5. В ближайшем будущем планируются к выходу переходники на известные бренды, вроде Arduino, позволяющие работать с элементами как Базовой платы, так и Slave-модулями.

В ближайшей перспективе к выпуску планируется множество различных плат к системе **HELPER** – следите за новостями сайта www.ldm-systems.ru.

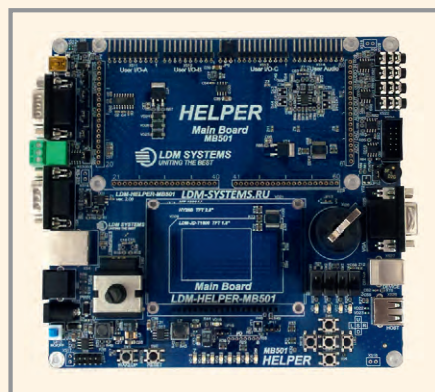


Рис. 1. Базовая плата LDM-HELPER-MB501-FULL в полной комплектации

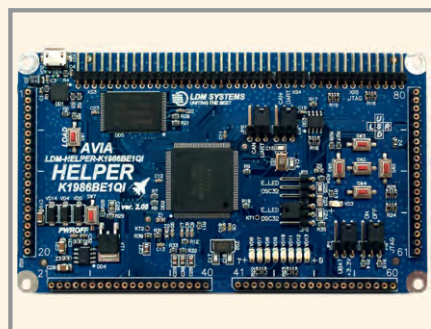


Рис. 2. Master-модуль LDM-HELPER-K1986BE1QI-FULL с микроконтроллером K1986BE1QI со встроенным 10/100(MAC+PHY) (ЗАО «ПКК Миландр»)

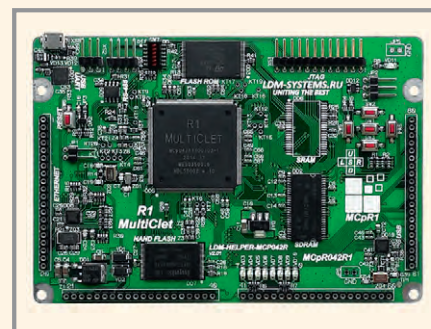


Рис. 3. Master-модуль LDM-HELPER-MCP042RQ256-FULL с мультиклеточным процессором МСр042R100102-1-LQ256I (ОАО «Мультиклет»)

Новости российского рынка

Малошумящий СВЧ-синтезатор 100 кГц – 12 ГГц

ООО «АДВАНТЕХ» (Advantex), российский разработчик и производитель СВЧ-узлов и систем, анонсирует синтезатор частот UNO-10M-RF.



Синтезатор отличается низким уровнем фазовых шумов, высоким быстродействием, малым шагом перестройки частоты, небольшими габаритными размерами и невысокой стоимостью относительно зарубежных аналогов.

Имеется возможность синхронизации как от внутреннего, так и от внешнего опорного сигнала.

Основные характеристики:

- диапазон частот 100 кГц...12 ГГц;
- шаг перестройки 0,001 Гц;
- уровень фазового шума:
- -140 дБн/Гц при отстройке 20 кГц @ 1000 МГц,
- -155 дБн/Гц при отстройке 20 кГц @ 1...100 МГц;
- уровень негармонических составляющих -60 дБн во всей полосе;
- время перестройки от 1 мкс (шаг <10 МГц) до 140 мкс (во всей полосе);
- выходная мощность от -10 до +15 дБм с шагом 0,5 дБ (выход 0,1...12 ГГц), от -10 до +13 дБм с шагом 0,1 дБ (выход 0,1...100 МГц);
- выход опорной частоты 10 или 100 МГц;
- частота внешнего опорного сигнала 1...250 МГц (шаг 1 МГц);
- диапазон рабочих температур -40...+65°C;
- интерфейс управления SPI;
- габаритные размеры (В × Ш × Г) – 26,8 × 87,5 × 185,0 мм.

www.advantex.ru
Тел.: (495) 721-4774

SMART High Reliability Solutions: новый защищённый высокопроизводительный HRS-X300 SATA SSD

Твердотельные накопители HRS-X300 в форм-факторе 2,5" с интерфейсом SATA фирмы SMART High Reliability Solutions™ сочетают высокую производительность,

непревзойдённую надёжность и уникальный набор функций обеспечения безопасности информации в едином устройстве.

Это делает их идеальным решением для хранения данных в самых требовательных приложениях промышленной автоматизации, оборонной и медицинской промышленности, в телекоммуникационной отрасли и на транспорте.

Применение в данных накопителях интерфейса SATA 6Gb позволяет обеспечивать доступ к последовательно расположенным данным со скоростью 500 МБ/с при чтении и 440 МБ/с при записи, а также до 45 000 операций ввода-вывода в секунду при чтении и до 33 000 при записи случайно расположенных данных.



Доступны модификации, включающие 60, 120, 240 либо 480 ГБ высоконадёжной памяти стандарта NAND-флэш, основанной на технологии одноуровневых ячеек (SLC).

Данные твердотельные накопители рассчитаны на работу в составе критически важных систем, где высокая стойкость к ударам, вибрации и перепадам температуры так же важна, как высокая производительность и надёжность.

Для мониторинга состояния устройства поставляется полный набор диагностических утилит, использующих специфические для твердотельных накопителей атрибуты технологии S.M.A.R.T.

<http://adtron-ssd.ru>
Тел.: (812) 309-2201

Самый компактный 400-ваттный AC/DC с конвекционным охлаждением

Компания XP Power объявила о начале выпуска высокоэффективных 400-ваттных одноканальных источников питания серии CCL400.

С типичным значением КПД до 94%, которое не меняется практически во всём диапазоне нагрузки, модули серии CCL400 не требуют применения принудительного воздушного охлаждения. При небольшой рассеиваемой тепловой мощности, вследствие высокого КПД, компоненты модулей CCL400 функционируют при низкой температуре, что ведёт к повышению надёжности и увеличению срока службы.

В отличие от других изделий, существующих в настоящее время на рынке, модули серии CCL400 способны непрерывно обеспечивать в нагрузке полную мощность 400 Вт при конвекционном охлаждении в диапазоне температур от -40 до +50°C и почти во всём диапазоне входного напряжения. Охлаждение модулей серии CCL400 также возможно кондукцией (отвод теплоты теплопроводностью через элементы конструкции аппаратуры), что позволяет обеспечить полную мощность 400 Вт во всём диапазоне входного напряжения и до температуры окружающей среды +70°C.

Габаритные размеры CCL400 составляют 100,3 × 177,8 × 39,9 мм, что соответствует формату стандартного монтажного шасси 1U. Доступна дополнительная защитная крышка.

Ряд CCL400 включает четыре одноканальные модели, которые обеспечивают популярные выходные напряжения +12, +24, +30 и +48 В. Функция регулировки выходного напряжения в диапазоне ±3% от номинального значения позволяет компенсировать потери в нагрузке.



Новости российского рынка

Источники питания серии CCL400 соответствуют требованиям 3 редакции стандарта ANSI/AAMI ES60601-1 к медицинским электрическим изделиям, а также соответствуют требованиям безопасности стандартов UL/IEC/EN 60950-1 к оборудованию информационной технологии.

Предусмотрен обширный набор защитных функций и сигналов управления: сигнал о неисправности входной сети, дистанционное включение/отключение и возможность подключения внешней обратной связи. Выходной канал +5 В / 0,5 А всегда доступен для обеспечения питанием логических схем.

Типичными применениями для серии CCL400 являются медицинские системы: оборудование жизнеобеспечения и системы обработки изображений. В частности, так как не используются охлаждающие вентиляторы, модули являются идеальными для медицинских систем, где в спецификации оговаривается низкий уровень шумов звукового диапазона.

Серия CCL400 также удовлетворяет требованиям широкого ряда промышленных и технологических решений, которые предъявляют чрезвычайно высокие требования к удельной мощности от источника питания с конвекционным или кондуктивным теплоотводом.

Гарантийный срок составляет 3 года.

Заказать модули серии CCL400 можно у официального дистрибьютора XP Power – компании ПРОСОФТ.

www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

MT1100A – первый полевой тестер для 100 Гбит/с оптических транспортных сетей

Компания «ЭлекТрейд-М», как официальный дистрибьютор компании Anritsu – ведущего поставщика инновационных решений в сфере коммуникаций, сообщает о запуске нового портативного тестера для оптиче-



ских транспортных сетей MT1100A Network Master Flex.

Анонсируемый прибор обеспечивает измерение клиентского сигнала на скоростях до 100 Гбит/с и может применяться для проведения испытаний сетевого оборудования следующего поколения со скоростью передачи данных 400 Гбит/с.

Универсальный многофункциональный тестер транспортных сетей MT1100A разрабатывался специально для испытаний высокоскоростных сред в полевых условиях и представляет собой платформу с тремя различными сменными модулями.

Модуль MU110010A поддерживает измерения в оптических транспортных сетях (OTN), сетях Ethernet, SDH/SONET и PDH/DSn, а также Fibre Channel, на скоростях от 1,5 Мбит/с до 10 Гбит/с.

Модуль MU110011A охватывает сети со скоростью передачи до 100 Гбит/с.

Модуль MU110012A разработан для сетей OTN и Ethernet со скоростями 40...100 Гбит/с и предназначен для тестирования оборудования и инфраструктуры магистральных каналов высокой ёмкости и городских сетей.

MT1100A может иметь до четырёх портов, которые обеспечивают одновременное тестирование в сетях OTN и Ethernet со скоростями до 100 Гбит/с – первый в своём классе универсальный измерительный инструмент по принципу «всё-в-одном».

Тестер MT1100A встаёт в один ряд с недавно выпущенным компанией Anritsu тестером MT1000A для специалистов по развёртыванию и обслуживанию оптических сетей.

www.eltm.ru
Тел.: (495) 218-2360

5,7" цветной TFT ЖК-дисплей со встроенным контроллером RA8875

Компания Raystar Optronics, Inc, известный производитель плоскопанельных дисплеев, предлагает серию RFC570P цветных 5,7" дисплеев, выполненных на основе активной матрицы управляющих тонкоплёночных транзисторов (TFT, Thin Film Transistor).

Модель RFC570P является модернизированным вариантом RFC570C, которая характеризуется встроенной платой управления на основе микросхемы RA8875 с 36-контактным соединителем. Эта модель может управляться через 8- или 16-разрядную шину и имеет выводы (с 33 по 36) для управления системой

подсветки, поэтому не требуется разработка дополнительных схем для системы задней подсветки.

Основные характеристики TFT-LCD RFC570P:

- диапазон рабочих температур –20...+70°C;
 - диапазон температур хранения –30...+80°C;
 - разрешение 320 × 240 пикселей (RGB);
 - яркость 500 кд/м² (без сенсорного экрана); с резистивным/ёмкостным экраном 280...400 кд/м²;
 - контрастность 150...250:1;
 - габаритные размеры модуля 141,12 × × 101,55 × 12,8 мм;
 - рабочее поле 115,2 × 86,4 мм;
 - шаг пикселя 0,12 × 0,36 мм;
 - тип дисплея: TFT, нормально белый, про-светный;
 - направление наблюдения: 12 часов (сверху вниз) либо наблюдение с инверсией шкалы серого: 6 часов (снизу вверх);
 - тип подсветки: светодиодная (светодиоды белого свечения);
 - микросхема контроллера RA8875;
 - интерфейс: цифровой совместимый с шиной CPU семейства 8080.
- Важные функции контроллера RA8875:
- поддержка смешанного режима «Текстовый/графический»;
 - поддержка режима передачи блоков (BTE, Block Transfer Engine) с функцией 2D, совместимость с функцией 2D BitBLT;
 - встроенный механизм геометрического ускорения;
 - два программируемых ШИМ для регулировки системой задней подсветки и других применений;



- встроенный контроллер 4-проводного сенсорного экрана;
- дежурный режим для понижения потребления электроэнергии.

www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Рынок САПР электронных устройств: от разрозненности к целостному подходу

Тенденции на рынке САПР электронных устройств – комплексный подход к задачам проектирования РЭУ (радиоэлектронных устройств), более тесная интеграция программных решений разного функционального назначения, всё более полная автоматизация рутинных действий разработчиков. О том, как эти тенденции реализуются на практике, рассказывает директор по продажам компании «Оркада» Александр Евграфов.

Как бы в целом вы охарактеризовали рынок САПР электронных устройств в России? Какова динамика его развития? Насколько привлекателен российский рынок для производителей программного обеспечения для разработки электроники?

Рынок САПР электронных устройств постепенно начинает двигаться от состояния «зоопарка» к формированию целостного подхода к решению бизнес-задач предприятия. Прежде очень часто можно было наблюдать использование разных систем автоматизированного проектирования в научно-технических отделах и лабораториях. Такая разрозненность в ходе разработки радиоэлектронных устройств существенно тормозила процесс получения готового образца. Данные, полученные в результате разработки и моделирования, не стыковывались между собой. Предприятиям приходилось тратить много времени и ресурсов на экспорт данных из

одних систем проектирования в другие, верификацию данных, устранение ошибок. За последние полтора года некоторые предприятия это осознали и нашли силы и возможности в корне поменять подход к организации своей деятельности. Постепенный переход на электронный документооборот, формирование единой базы данных компонентов, внедрение общего стандарта проектирования электроники на предприятии, использование PDM-систем для управления жизненным циклом изделия в ближайшей перспективе продемонстрируют высокую рентабельность и возврат инвестиций.

Производители САПР электронных устройств, в свою очередь, развивают свои продукты быстрыми темпами, улучшая и унифицируя программные решения для безболезненной интеграции со сторонними САПР. Российский рынок очень привлекателен для них: у нас огромный потенциал, нам есть куда расти и развиваться. Один из актуальных вопросов – борьба с излишней бюрократизацией и стереотипами в умах разработчиков, которые считают, что любые изменения губительны для отдела и компании в целом. Это не так, и мы готовы продемонстрировать, насколько эффективны современные подходы. Яркими примерами являются:

- использование программных решений на платформах Cadence OrCAD/Allegro для проектирования печатных плат и аналого-цифрового моделирования;
- ANSYS HFSS/Designer для разработки СВЧ- и антенных устройств;
- CAM350 для подготовки печатных плат к производству;
- Aldec Active HDL для моделирования проектов с поддержкой всех семейств ПЛИС;
- Creo/Solidworks для конструкторской документации;

- Windchill для управления данными об изделии.

Каковы общие направления совершенствования систем автоматизированного проектирования электронных устройств? Каковы те требования индустрии микроэлектроники, которые приходится учитывать производителям САПР?

Развитие электронных САПР, как известно, определяется развитием электроники и, конечно же, ужесточением конкуренции среди производителей САПР. За последнее время резко увеличилась производительность полупроводниковых микросхем, совершенствуются высокоскоростные интерфейсы обмена данными. При этом корпуса становятся всё меньше, уменьшается и шаг выводов. Компоненты размещаются не только на внешних сторонах платы, но и внутри неё. При этом резко возросло значение средств моделирования, позволяющих предсказать ошибки в работе электроники ещё до выпуска опытных образцов. Происходит сращивание средств проектирования плат и корпусов микросхем. Усиливается интеграция с механическими САПР – до такой степени, когда часть инструментов проектирования механики становится частью САПР печатных плат. Появляются новые форматы обмена данными.

Какие новинки отрасли, доступные на российском рынке, вы могли бы отметить? Какие новые решения появились в портфеле компании «ОРКАДА»?

На сегодняшний день портфель программных решений нашей компании полностью покрывает любые нужды разработчиков во всех отраслях промышленности. Среди наиболее актуальных направлений – создание гибко-жестких плат, применение высокоскоростных интерфейсов DDR, HDMI и USB, разработка специализированной техники криптографической защиты информации и др.

В этом году наша компания предложила новые решения компании Cadence Design Systems:

- OrCAD Library Builder – для автоматизированного создания библиотек компонентов;



- OrCAD Documentation Editor – для создания документации на печатную плату;
- OrCAD Engineering Data Management – для параллельного проектирования и управления данными.

Указанные решения представляют собой программные приложения к поставляемым нами системам Cadence OrCAD/Allegro для разработки и моделирования простых и высокосложных печатных плат. В скором времени мы представим на российском рынке новый программный продукт – VayoPro-DFM Expert. Это приложение встраивается в программную среду Cadence OrCAD/Allegro и позволяет осуществлять дополнительный контроль правил проектирования DFM/DFA.

Кроме того, мы усовершенствовали методики обучения, которые позволяют разработчикам за пять дней овладеть базовыми или расширенными навыками работы с указанным ПО. У нас успешно функционирует дизайн-центр по проектированию электроники. Наши аппаратно-программные комплексы эффективно работают на десятках предприятий военно-промышленного комплекса. Обладая высокой квалификацией, наши сотрудники могут как подобрать наилучший программный продукт для решения конкретной задачи, так и провести полное внедрение САПР на всём предприятии. Немногие системные интеграторы могут похвастаться такими возможностями и ресурсами в данном сегменте рынка.

Важнейшая часть автоматизированного проектирования – автоматизация подготовки инженерной документации. При этом документация должна отвечать российским стандартам. Насколько полно это реализуется в предлагаемых на рынке западных решениях?

Компания Cadence Design Systems в этом году выпустила программный продукт OrCAD Documentation Editor. Это приложение, которое позволит снизить нагрузку на инженера при подготовке документации: чертежа детали, сборочного чертежа, спецификации. Данное приложение можно адаптировать под российские стандарты.

Создание документации с помощью специального мастера начинается непосредственно из окна OrCAD/Allegro PCB Editor. На выходе инженер получает чертёж, полностью оформ-

ленный согласно заранее подготовленным шаблонам. На чертёж можно вынести абсолютно любой слой и вид платы – это напоминает работу в механической САПР, когда на основании 3D-модели формируются 2D-изображения. Удобные настройки, интуитивно понятный интерфейс, гиперссылки, возможность подсветки компонентов и цепей из списка, вывод спецификации, настройка шаблона для любого документа и многие другие функции позволят значительно сократить время подготовки документации на печатную плату.

Программа позволяет создавать детальные чертежи, сборочные чертежи, выводить перечень, спецификацию и многое другое, формируя данные документы для различных вариантов сборки платы. На чертеже можно отразить любой вид платы, фрагмент топологии, вариант установки ЭРИ на плату, таблицу сверловки, стек слоёв и др. Документы в OrCAD Documentation Editor интерактивны: например, сноска на чертеже может содержать гиперссылку на соответствующий пункт технических требований или на внешний документ с любым содержанием, включая видео- и аудиоматериалы. OrCAD Documentation Editor получает данные напрямую из OrCAD/Allegro PCB Editor. При внесении любых изменений в топологию уже имеющаяся документация корректируется автоматически с формированием новой версии электронного пакета документации. С помощью бесплатного приложения OrCAD Documentation Viewer чертежи и спецификации можно просматривать в электронном виде вместе со всем встроенным интерактивным контентом. Данное приложение значительно упростило процесс создания документации на печатную плату.

Не менее важная задача – добавление компонентов в библиотеку САПР. До какой степени сегодня этот процесс может быть автоматизирован? Велика ли доля «ручного труда» в этом процессе?

Прежде приходилось тратить очень много времени на создание многовыводных компонентов, особенно состоящих из 100 и более пинов. Программное решение OrCAD Library Builder справляется с этой задачей за считанные минуты. Оно позволяет создавать символы компонентов для схемы и посадочные места для печатной

платы любой сложности. К посадочному месту автоматически генерируется полная 3D STEP-модель компонента. Символы компонентов для схемы создаются путём распознавания и обработки данных непосредственно из технических описаний компонентов (Datasheets) в формате PDF. Считываются любые источники данных – таблицы и диаграммы выводов, в том числе BGA. Посадочные места создаются на основе широкого набора готовых калькуляторов, таких как BGA, LGA, CGA, PLCC, LCC, CQFP, QFP, QFN и др. В программе доступны как стандартные формы контактных площадок для выводов компонентов, так и полностью настраиваемые пользователем. Создание посадочных мест можно вести в строгом соответствии со стандартом IPC-7351 или с пользовательскими нормами, соответствующими текущему производству. Для обеспечения наилучшего взаимодействия между OrCAD и любой механической САПР (MCAD) в программе генерируется готовая и точная 3D STEP-модель компонента. Мощная система проверок позволяет с первой итерации без ошибок создавать точные и полноценные библиотеки со всеми необходимыми свойствами. Таким образом, процесс создания библиотек компонентов значительно упрощён и автоматизирован.

Совместная работа команд разработчиков – общая тенденция практически для всех отраслей. В сфере микроэлектроники приложение для совместной работы появилось, например, в портфеле OrCAD. Насколько широки сегодня возможности совместной работы специалистов над проектами? В чём особенности и преимущества нового приложения OrCAD для совместной работы?

С каждым годом уровень сложности проектируемых радиоэлектронных устройств становится всё выше. Всё чаще мы сталкиваемся с тем, что проект ведут несколько разработчиков, как внутри одного предприятия, так и с привлечением сторонних специалистов. Для оптимизации рабочего времени, ресурсов предприятия и повышения удобства работы мы предлагаем использовать специальное приложение Cadence OrCAD Engineering Data Management (EDM). В отличие от других программ, OrCAD EDM полностью встраивается в интерфейс схематех-

нического редактора OrCAD Capture (Allegro Design Entry CIS). Данное приложение предназначено для параллельной работы группы инженеров, администрирования проектов и библиотек. С помощью инструментов администрирования главный инженер проекта может легко распределять права доступа пользователей к различным частям проекта – отдельным страницам, функциональным блокам, схемам. Закрытые для доступа схемы можно просматривать в режиме «только чтение». Ведётся постоянный контроль за тем, кто вносил или вносит изменения в ту или иную часть проекта. Контролируются изменения в библиотеках OLB на уровне каждого компонента. Поддерживаются как простые многолистовые схемы, так и проекты со сложной иерархией.

С помощью OrCAD EDM решается сразу несколько актуальных задач групповой разработки: контроль доступа пользователей к документам проектов и библиотекам, контроль стадии выполнения и контроль изменений, вносимых в проекты и библиотеки, а также обеспечение режима просмотра документов для пользователей, у которых нет прав на внесение изменений. Кроме того, возможно использование различных документов проекта в качестве шаблонов для повторного использования в текущем или будущем проекте. Это очень удобное приложение, которое значительно экономит время и сокращает сроки получения готового образца. Мы видим, что параллельная работа инженеров является востребованной на российском рынке, и рады предложить данное решение отечественным разработчикам.

Как только программная система становится популярной, возникает риск её несанкционированного использования. Какие меры принимаются (могут быть приняты) для устранения таких рисков?

Несанкционированное использование программного продукта свидетельствует о его востребованности. Но одновременно оно влечёт достаточно большие риски необратимых последствий. Например, недостоверных результатов моделирования, потери проекта на заключительной стадии его реализации, краха системы в любой момент её использования. Можете представить себе ситуацию, когда проект длился год, осталось несколько дней до сдачи, а он

не открывается или более 70% данных вдруг оказались потеряны?

Нелегально или полужакоально полученное ПО – это полуфабрикат, возможности которого используются процентов на сорок. Результат работы в такой системе получается соответствующий. Ни одна организация не пойдёт на такой риск. У нас данный вопрос решается просто: демонстрация 100% возможностей конкретной САПР, выполнение пилотного проекта, грамотная техническая поддержка и гибкая система лицензирования. Используя лицензионную САПР, разработчик получает максимально стабильную систему, своевременные обновления и доступ к образовательным ресурсам от производителя, включая последние новости о развитии САПР и электроники в целом. Это позволяет изменить подход к разработке электроники, поскольку специалист находится в процессе непрерывного самообразования, получения новых знаний.

Необходимо отметить, что производители ПО постепенно переходят на новую схему обновлений. Теперь ежеквартально выходят глобальные обновления – Update Release, которые добавляют в программу новый функционал. Такую систему обновлений уже использует Cadence Design Systems, а с 2015 года на неё переходит компания ANSYS. Разработчикам не придётся целый год дожидаться новой версии с расширенными функциональными возможностями – в течение года они получают её бесплатно в рамках актуальной технической поддержки. Кроме того, разработчики могут общаться с производителем напрямую и отправлять ему рекомендации для дальнейшего улучшения системы. Это очень важно для производителя программного обеспечения – получать обратную связь от разработчиков.

Интеграция решений разных производителей с различными специализациями, несомненно, создаёт большие преимущества для пользователей. Один из примеров – интеграция программного решения ANSYS HFSS для анализа электромагнитных полей в ПО для проектирования СВЧ-схем AWR Microwave Office. Является ли данный пример уникальным или он – проявление общей тенденции?

Комплексный подход к разработке радиоэлектронных устройств является наиболее востребованной задачей на

рынке САПР электронных устройств. Компания ANSYS, лидер в области 3D-электромагнитного анализа, совместно с компанией AWR, лидером в области проектирования СВЧ-схем, обеспечили интеграцию между программными решениями Microwave Office и HFSS.

Программный продукт ANSYS HFSS известен во всём мире как «золотой» (отраслевой) стандарт в области трёхмерного решения задач электродинамики. Данный пакет обеспечивает очень высокую точность расчёта и большое количество методов моделирования. Программное решение Microwave Office при использовании электромагнитного анализа задействует 2,5D-решатель, основанный на методе моментов Галёркина. Данный метод не всегда демонстрирует точные результаты моделирования. Интеграция программных решений двух компаний была выполнена специально для решения этого вопроса. Теперь лицензированные пользователи Microwave Office могут непосредственно из интерфейса программы экспортировать данные в программный продукт ANSYS HFSS для дальнейшего трёхмерного электромагнитного анализа. Это могут быть пассивные компоненты, контактные дорожки, разъёмы и контакты, необходимые при проектировании и реализации монолитных интегральных схем СВЧ (MMIC), радиочастотных плат с плотной компоновкой и многофункциональных модулей. Несмотря на то, что два производителя ПО являются конкурентами, а собственные программные решения ANSYS полностью перекрывают возможности AWR, данный подход помог значительно упростить работу специалистов. Теперь разработчики могут проводить более точный анализ в удобной для них среде проектирования.

Данный пример не является уникальным. Многие разработчики используют САПР P-CAD и автотрассировщик Cadence Allegro PCB Router (Specctra), аналого-цифровое моделирование в среде Cadence OrCAD Pspice (Allegro AMS Simulator) и Altium Designer, проектирование печатных плат в среде Allegro PCB Designer и электромагнитный анализ в ANSYS SIwave.

Подчас возникает «разрыв» между САПР электронных устройств (ECAD) и машиностроительными САПР (MCAD), который создаёт проблемы для автоматизации управления

жизненным циклом готового изделия. Насколько активно и успешно решается эта проблема производителями?

Данная проблема уже была отчасти решена благодаря использованию формата IDF. Сейчас программные решения Cadence OrCAD/Allegro поддерживают новый формат обмена данными между САПР печатных плат и механической системой проектирования – IDX. Этот формат, известный как протокол EDMD, позволяет сократить время на обмен данными между САПР электронных устройств и машиностроительными САПР. Этот стандарт поддерживается ведущими производителями MCAD-систем, такими как PTC и Solidworks. В состав стандарта входит возможность вести историю изменений, фиксировать причины внесения изменений, осуществлять предварительный просмотр, а также принимать или отклонять изменения.

Насколько точными можно считать результаты виртуального моделирования «поведения» изделия микроэлектроники, выполненного с помощью современных программных средств? До какой степени виртуальное моделирование может заменить проведение реальных тестов и измерений?

Современные программные решения позволяют получить достаточно точные результаты моделирования. Это подтверждают и сами разработчики. В своё время я пять лет проработал инженером – разработчиком радиоэлектронных устройств в одном из ведущих НИИ. Мы занимались созданием радиопередающих систем, включая моделирование, разработку, настройку и выпуск документации. Современные САПР тогда практически не использовались – то был период постепенного перехода с кульма-

на на персональные компьютеры. Как и во многих НИИ, средств на исследование и создание прототипа того или иного функционального блока выделялось, к сожалению, крайне мало. Только благодаря большому практическому опыту коллег мы успешно справлялись с поставленной задачей, но при этом приходилось тратить много времени на доработку, настройку, испытания и, в дальнейшем, на выпуск извещений на бумаге. Всё это значительно тормозило реализацию проектов и начало серийного выпуска. Сейчас ситуация изменилась: современные системы проектирования позволяют избежать многих «острых углов» при разработке и получить полностью готовый образец в минимальные сроки. У нас есть все возможности и программные средства для воплощения самых разнообразных идей и достижения поставленных целей.



Новости мира News of the World Новости мира

Samsung и стартапы встретились в Сколково

Сколковские стартапы, работающие в областях Интернета вещей (IoT) и технологий здравоохранения, представили свои проекты делегации Samsung Electronics.

Команда Oriense работает над созданием устройств, позволяющих людям с частично или полностью отсутствующим зрением лучше ориентироваться в пространстве. Проект объединяет технологии компьютерного зрения и навигационные технологии. Он ориентирован на повышение самостоятельности и социальной адаптации инвалидов по зрению. С помощью специального устройства с GPS-навигатором и 3D-камерой человек может перемещаться самостоятельно, обходя препятствия. В настоящее время готов прототип устройства, а выпустить готовый девайс Oriense собирается уже в этом году.

Проект «Медархив» – это, по сути, «электронная медицинская карта» – сервис для обмена медицинской информацией между врачами и медицинскими учреждениями, с одной стороны, и пациентами, с другой. Вся личная медицинская информация, заключения врача, данные о принимаемых лекарствах хранятся в архиве пациента. Сервис доступен как в веб-версии, так и в виде мобильного приложения для устройств под управлением iOS или Android. Доступом к информации может также служить специальная карта с QR-кодом. В случае экстренной ситуации любой врач может считать информацию,

необходимую для помощи пациенту, с карты – тем самым сокращается время на диагностику и принятие мер по спасению жизни.

AngioScan представил два направления своей работы: пользовательские и профессиональные устройства для мониторинга здоровья. Оба вида устройств используют технологию, разработанную компанией, но имеют разный функционал. Неинвазивный метод ранней диагностики заболеваний сосудов, применяемый в приборах AngioScan, заключается в измерении эластичности артерий и оценке способности эндотелия выполнять свои функции. Пациент может проводить диагностику самостоятельно, дома, используя мобильное устройство. Данные отправляются в облако и могут быть доступны для лечащего врача пациента.

GO+ представила свой проект: команда трудится над созданием платформы, которая позволит управлять самыми разными IoT-устройствами вне зависимости от их производителя и спецификации. С помощью универсальной платформы устройства из разных «семейств», имеющие выход в Интернет, можно познакомить и заставить работать друг с другом. Кроме того, на платформе GO+ можно создавать собственные сервисы для IoT.

Решения Fruct MD ориентированы на домашнюю медицину, фитнес и здоровый образ жизни. Команда создаёт решения для мобильного здравоохранения, персонализированной ранней диагностики заболеваний и помощи врачам в мониторинге

состояния их пациентов. Платформа Fruct MD поддерживает десятки моделей разнообразных датчиков и работает со множеством устройств: от смартфонов или фитнес-браслетов до электрокардиографов.

Проект iRidium mobile создаёт универсальное программное обеспечение для всех домашних устройств или «умного дома» как значительной части грядущего Интернета вещей, а также среду разработки интерфейсов. Единая платформа позволяет управлять устройствами на всех современных платформах – iOS, Android, Windows и Mac OS.

Посещение технопарка Сколково представителями корейской корпорации стало ответом на визит вице-президента, исполнительного директора кластера информационных технологий Фонда Сколково Игоря Богачёва в Южную Корею.

В рамках поездки в Корею представитель IT-кластера Сколково встретился с топ-менеджментом Samsung Electronics, отвечающим за запуск платформы Tizen, и представил Сколково в качестве места для размещения лаборатории по созданию приложений для этой платформы силами стартапов. Также Игорь Богачёв рассказал представителям Samsung о проектах, работающих в области Интернета вещей, представленных в Сколково на сегодняшний день, и о масштабном конкурсе «Интернет вещей-IT Challenge», организованном Фондом.

<https://community.sk.ru/>



Робототехника и встраиваемые системы

Андрей Антонов (Волгоград)

В статье представлены понятия «робототехника», «мехатроника», «встраиваемая система». Рассмотрены исторические аспекты понятий и представлены основные компоненты робототехнических систем. Освещены основные составляющие встраиваемых систем, в том числе операционные системы реального времени (RTOS).

Понятия «РОБОТОТЕХНИКА» и «МЕХАТРОНИКА»

В окружающем нас современном мире мы сталкиваемся с применением мехатроники и робототехники в различных областях: машиностроении, авиационной и космических отраслях, медицине, фармацевтической промышленности, при производстве спортивного оборудования, бытовой техники, продуктов питания. Так что же стоит за этими понятиями?

Термин «робототехника» происходит от двух слов «робот» и «техника». Впервые слово «робот» (от чеш. «robota», что переводится как «подневольный труд») употребил чешский писатель Карел Чапек в своей пьесе «Россумские Универсальные Роботы» («R.U.R»), вышедшей в 1920 году [1]. Роботами Чапек назвал механических людей. Термин же «робототехника» впервые использовал американский писатель русского происхождения Айзек Азимов в своём научно-фантастическом рассказе «Лжец», впервые опубликованном в американском журнале фантастики «Astounding Science Fiction» в 1941 году [2].

В современном представлении робототехника – это прикладная научная область, включающая в себя знания в области машиностроения, электротехники, электроники и вычислительной техники, которая занимается проектированием, строительством и применением роботов, а также компьютерных систем для их управления, реализации сенсорной обратной связи и обработки информации.

В Российской Федерации лишь в марте 2000 года Министерством образования был утверждён государственный

образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению 652000 «Мехатроника и робототехника».

Термин «мехатроника» (образован от двух слов: «механика» и «электроника») впервые ввёл в 1969 году старший инженер компании Yakasawa Electric японец Тецуро Мория. Изначально это было названием торговой марки, но с течением времени понятие распространилось настолько широко, что стало нарицательным.

В России термин «мехатроника» заменил словосочетание «электрический привод», которое уже с начала 30-х годов XX века использовалось для обозначения технических систем, которые обеспечивали заданные движения механизмов, используя электричество.

Постепенно происходила интеграция элементов, которые составляли электропривод. Механика, электрические машины, силовая электроника, микропроцессорная техника и программное обеспечение часто теперь образуют единую систему. В настоящее время под мехатроникой понимают разнообразные системы электропривода, обеспечивающие прецизионные движения и обладающие развитой системой управления. К примерам мехатронных систем можно отнести промышленные станки с ЧПУ, автономные самоуправляемые транспортные средства и даже бытовую электронику, например, автоматические стиральные машины и офисные принтеры.

Специалист, занимающийся робототехникой и мехатроникой, должен обладать обширным багажом знаний и навыков:

- уметь программировать, используя различные алгоритмические языки;
- знать современную элементную базу и тенденции развития электроники;
- использовать алгоритмы искусственного интеллекта, включая алгоритмы машинного обучения, статистические и вероятностные методы;
- быть в состоянии создавать математические модели мехатронных и робототехнических систем и разрабатывать управление ими, используя математический аппарат кибернетики и теории автоматического управления (ТАУ);
- разрабатывать интеллектуальные интерфейсы и системы технического зрения, а также другие системы робототехнических комплексов;
- проводить анализ различных технологических процессов и вырабатывать рекомендации по их возможной автоматизации и роботизации;
- обеспечивать внедрение и эксплуатацию роботизированных устройств с соблюдением требований эргономики и безопасности.

Основные компоненты роботов

Как правило, любая робототехническая система состоит из механической, электрической и программной компонент.

Механическая часть

Роботы имеют различные механические конструкции, несущие рамы, детали обшивки, которые используются для решения той или иной поставленной задачи. Например, если мы хотим, чтобы мобильный робот мог перемещаться по бездорожью, то лучше всего для этого использовать гусеничные траки, поэтому формой робота может быть коробка с гусеницами. Механическая часть целиком зависит от условий окружающей среды, в которой планируется применение робота, и от связанных с ней физических процессов: гравитации, трения, сопротивления и так далее.

Электрическая часть

Соединительные провода, различные датчики, блоки управления, источники питания и прочее – всё это электрическая часть. Упомянутый выше гусеничный робот нуждается в источнике энергии для приведения в движение гусениц. Эта энергия поступает в виде электричества, передающегося по проводам от батареи. Даже машинам с двигателями внутреннего сгорания требуется электрический ток: для запуска двигателя. Поэтому большинство таких машин оснащено аккумуляторными батареями. Электрическая часть включает в себя и блоки управления двигателями, которые часто являются электромоторами. Для определения температуры, звука, местоположения и уровня заряда батареи для восприятия роботом окружающей среды и своего состояния используются электрические сигналы. Также роботам требуется некоторое количество электрической энергии, подаваемой на моторы и/или датчики для того, чтобы включаться и выполнять основные операции.

Электрическая часть роботов может включать в себя источники питания, актуаторы (исполнительные элементы), различные датчики, управляющую электронику и прочее.

Программная часть

Пожалуй, самой важной частью любого робота является его программная составляющая. Используя программу, робот решает, когда и как что-либо делать. Вновь обратимся к примеру с гусеничным роботом. Мы хотим, чтобы он передвигался, но даже если он имеет правильную механическую конструкцию и получает достаточное количество энергии от аккумуляторных батарей, он не движется. Почему? Что на самом деле заставляет робота двигаться? Это его программа. Даже если у вас есть пульт дистанционного управления (ДУ), и вы нажали кнопку, заставляя его двигаться вперёд, то по-прежнему будет нужна программа, относящая нажатую кнопку на пульте ДУ к действию движения вперёд. Программы являются ядром робота, он может иметь великолепную механико-электрическую конструкцию, но, если его программа создана некорректно, то выполняемая им работа будет сделана недостаточно хорошо, а то и не сделана вовсе. Есть три различных типа программ для роботов: ДУ,

ИИ и гибридная. Аббревиатура «ДУ» расшифровывается как «Дистанционное управление», робот с этим типом программы имеет уже существующий набор команд, которые будут выполнены в случае, если он получит сигнал от источника управления. Большую часть времени источником управления является человек с пультом дистанционного управления. Возможно, рассматривать устройства, управляемые напрямую командами человека, более целесообразно в области автоматизации, а не робототехники. «ИИ» расшифровывается как «Искусственный интеллект». Роботы с программой такого рода взаимодействуют с окружающей средой самостоятельно, без источника управления. Роботы с ИИ генерируют решения для объектов/задач, с которыми они сталкиваются, используя ПО для решения, понимания, обучения и/или создания. Гибридные программы включают в себя как функции ИИ, так и ДУ. Например, робот, который может работать автономно, сталкивается с проблемой, генерирует два решения, как система ИИ, а затем полностью полагается на оператора, чтобы решить, что сделать, выступая уже в роли дистанционно управляемой системы.

Встраиваемые системы

Понятие «робототехника» в наши дни тесно связано с понятием «встраиваемая система». Роботы включают в себя целый набор различных встраиваемых систем, используемых для восприятия, реализации перемещений и управления.

Встраиваемая система представляет собой комбинацию компьютерного аппаратного и программного обеспечения и может быть дополнена механической или электронной частью для выполнения заданной функции [3]. Хорошим примером является микроволновая печь. Хотя она есть во многих домах, немногие осознают, что непосредственное участие в приготовлении обеда или ужина принимают компьютерный процессор и программное обеспечение.

Разработка встраиваемой системы для выполнения заданной функции существенно отличается от разработки программного обеспечения на персональном компьютере. Последний также включает аппаратное, программное обеспечение и механические компоненты (например, жёсткий

диск). Однако персональный компьютер не разрабатывается для выполнения конкретной функции. Правильнее будет сказать, что он является универсальным устройством для выполнения множества различных операций. Часто для того, чтобы более точно отразить это различие, используется термин «компьютер общего назначения». Производитель компьютера не знает, как потребитель будет его использовать. Кто-то может использовать его в качестве файлового сервера, кто-то – для компьютерных игр, а некоторые будут производить на нём научные вычисления.

Зачастую встраиваемая система является частью некоторой большой системы. Например, современные автомобили и грузовики содержат множество встраиваемых систем. Одна встраиваемая система распознаёт и ликвидирует блокировку колёс при торможении, другая отслеживает и управляет газораспределением, третья отображает информацию на панели управления. В большинстве случаев автомобильные встраиваемые системы обмениваются данными через информационную сеть.

Важно отметить, что интерфейсы компьютеров общего назначения созвучны встраиваемым системам. Например, обычный персональный компьютер имеет клавиатуру и мышь, являющиеся, в свою очередь, встраиваемыми системами. Каждое из этих периферийных устройств содержит процессор и программное обеспечение для выполнения специфической функции. Другим примером служит сетевая карта Ethernet, которая необходима для приёма и передачи цифровых данных при проводном соединении. И это всё, для чего она предназначена.

Наличие процессора и программного обеспечения во встраиваемой системе может быть незаметным для пользователя устройства. Как в случае с микроволновой печью, MP3-плеером или будильником. В некоторых случаях можно даже построить функционально эквивалентное устройство, которое не будет содержать процессора и программного обеспечения. Это легко реализовать, заменив, например, комбинацию процессора и программного обеспечения специализированной интегральной схемой, предназначенной для выполнения той же самой функции. Однако комбинация про-

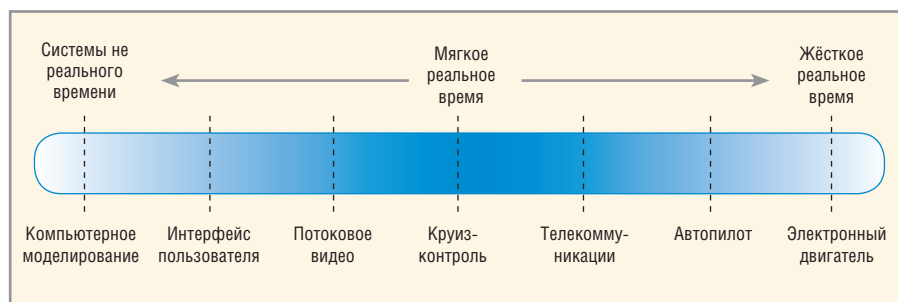


Рис. 1. Системы реального времени

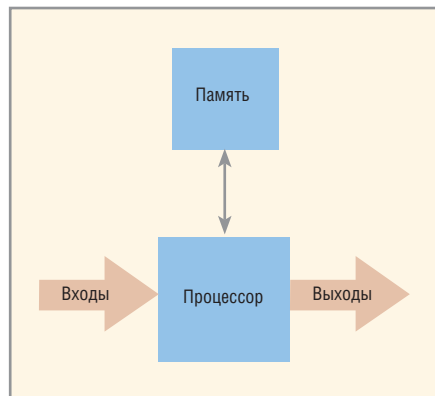


Рис. 2. Обобщенная встраиваемая система

цессора и программного обеспечения обычно даёт большую гибкость, чем аппаратная реализация. Использование процессора и программного обеспечения во встраиваемой системе, как правило, является более простым, дешёвым и менее энергозатратным решением.

С точки зрения реализации, между компьютером общего назначения и встраиваемой системой есть существенная разница. Встраиваемым системам часто требуется обеспечить реакцию в реальном времени. Система реального времени определяется как система, чья работа зависит от своевременности ответа.

Системы реального времени различаются, и основная особенность каждой из них заключается в том, что произойдёт, если срок реакции системы не выдержан. Например, если система реального времени является частью системы управления полётом самолёта, то жизни пассажиров и членов экипажа может угрожать лишь пропущенная реакция на какое-нибудь отслеживаемое событие. Если же речь идёт о системе спутниковой связи, то результат несвоевременной реакции может быть ограничен одним пропущенным пакетом данных (который может иметь или не иметь катастрофических последствий в зависимости от реализации и схемы восстановления ошибок). Чем тяжелее последствия, тем более

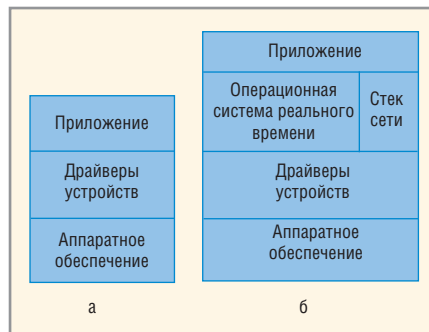


Рис. 3. Примеры высокоуровневых схем

а — базовая схема встроеного ПО;

б — сложная схема встроеного ПО

вероятно, что время реакции является «жестким», и такая система является «жесткой системой реального времени». Системы реального времени с меньшими требованиями для скорости реакции являются так называемыми «мягкими системами реального времени». На рисунке 1 показаны некоторые примеры жестких и мягких систем реального времени.

Создание системы реального времени — это не просто работа над скоростью реакции. Время реакции для систем реального времени различается. В некоторых случаях время реакции может измеряться миллисекундами, в других же — часами. Основной проблемой для системы реального времени является реализация гарантии того, что жестко заданное время реакции системы никогда не нарушается. Для того чтобы достичь этого, система должна быть предсказуемой.

Архитектура программного обеспечения и его взаимодействие с аппаратными средствами встраиваемой системы играют ключевую роль в обеспечении того, чтобы системы реального времени укладывались в свои временные ограничения. Основные вопросы в разработке программного обеспечения состоят в следующем: достаточно ли просто опрашивать порты, или же следует использовать прерывания, и какие приоритеты должны быть присвоены различным задачам и

прерываниям. Также важно понимать требования к минимальной производительности системы для выполнения конкретных действий.

Все встраиваемые системы содержат процессор и программное обеспечение. Но что ещё они в себя включают? Конечно, для работы с программным обеспечением необходимо место для хранения исполняемого кода и временное хранилище для обрабатываемых данных. Эти хранилища представляют собой запоминающее устройство (ПЗУ) и оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) соответственно. Если требуется только небольшой объём памяти, то это может быть реализовано на одной с процессором микросхеме. В противном случае, один или оба типа памяти находятся во внешних микросхемах памяти.

Все встраиваемые системы также содержат некоторые типы входов и выходов. Например, в микроволновой печи входами являются кнопки на передней панели и датчик температуры, а выходами — дисплей и микроволновое излучение. Выходы встраиваемой системы практически всегда зависят от её входов и ряда других факторов (прошедшее время, текущая температура и т.д.). Входы в системе, как правило, выполнены в виде датчиков и зондов, сигналов связи или ручек управления и кнопок. Выходами являются, как правило, дисплеи, сигналы связи или изменения в физическом мире. На рисунке 2 приведена обобщенная схема встраиваемой системы.

За исключением этих нескольких общих черт, остальная часть аппаратного обеспечения обычно уникальна и, следовательно, требует уникального программного обеспечения. Эти вариации являются результатом комбинации многих проектных критериев.

Структура программного обеспечения для обобщенной встраиваемой системы, показанной на рисунке 2, изменяется в зависимости от требуемых функциональных возможностей. Аппаратное обеспечение является пустым холстом, а программное обеспечение является краской, которую мы добавляем для того, чтобы появилась картина. На рисунке 3 представлена только пара из великого множества возможных высокоуровневых схем, которые могут быть реализованы для таких обобщенных встраиваемых систем.

Драйверы устройств являются встроенными программными модулями, которые содержат набор функций для работы с отдельными устройствами. Использование программного драйвера устройства позволяет основному приложению не задумываться над тем, как управлять каждым компонентом в деталях. Каждому отдельному драйверу устройства, как правило, нужно знать только, как управлять своим устройством. Например, для микроволновой печи, отдельные драйверы устройств управляют клавиатурой, дисплеем, датчиком температуры и микроволновым излучением.

Если же требуется большая функциональность, то во встроенное программное обеспечение необходимо включить дополнительные уровни. Представленная на рисунке 36 схема включает в себя операционную систему реального времени (Real Time Operating System, RTOS) и сетевой стек. RTOS может помочь программисту разделить функциональность приложения в различных задачах, что улучшит организацию прикладного программного обеспечения и поможет реализовать более гибкую систему. Сетевой стек также добавляется к функциональности базовой встраиваемой системы. Например, микроволновая печь может использовать его, чтобы вывести сообщение о готовности обеда на рабочий стол компьютера.

Объем используемой памяти и вычислительная мощность встраиваемых систем, как правило, ограничены. Это делает разработку программного обеспечения для встраиваемых систем более сложной, по сравнению с разработкой приложений для настольных компьютеров.

Число встраиваемых систем в ближайшие годы будет неизменно расти. Активное внедрение различных автоматизированных домашних помощников, развитие робототехники, технологий «Умный дом» и Интернета вещей приводят ко всё большему вниманию к встраиваемым системам со стороны разработчиков.

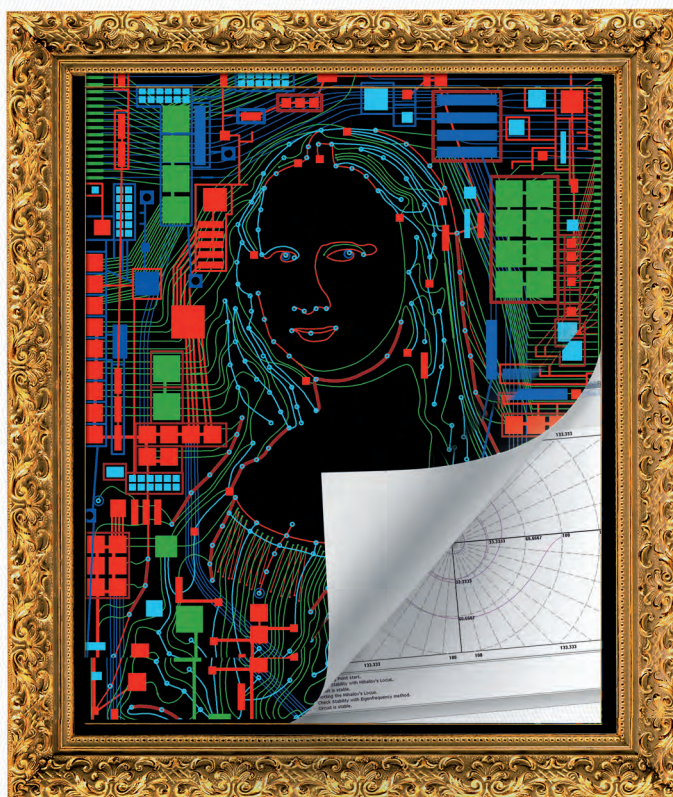
ЛИТЕРАТУРА

1. Чапек К. Пьесы. Москва. Издательство «Искусство». 1959. Библиотека драматурга.
2. Азимов А. Я, робот. Москва. «Знание». 1964.
3. Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools. 2nd Edition. O'Reilly. 2007.



EREMEX
Инновационный подход к проектированию электроники

САПР



Вер. 6.0
ТОПОР
Топологический
трассировщик
печатных плат



Вер. 2.1
SIMONE
Пакет моделирования
электронных схем



info@eremex.ru • www.eremex.ru

Москва, ул. Профсоюзная, д. 108
Тел.: +7 (495) 232-18-64

Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 29А
Тел.: +7 (812) 448-04-44

Реклама

Тенденции развития аэрокосмических энергетических систем с лазерными каналами передачи энергии

Часть 1

Александр Сигов, Владимир Матюхин (Москва)

В статье рассмотрены принципы построения лазерных систем для передачи энергии на удалённые объекты через турбулентную атмосферу. В качестве мощного источника излучения наземного базирования предложено использовать волоконные лазеры с выходной мощностью 100...1000 кВт. Энергия передаётся с помощью зеркала-ретранслятора, размещённого на стратосферном дирижабле. Процесс передачи оптимизирует адаптивная оптическая система.

ВВЕДЕНИЕ – ТРАНСПОРТИРОВКА ЛАЗЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ПО СТРАТОСФЕРНЫМ МАГИСТРАЛЯМ

В последние годы активно обсуждается проблема передачи энергии в околоземном воздушном и космическом пространстве с помощью лазерного излучения [1–3]. Интерес к этой проблеме связан, прежде всего, с тем, что нарушение снабжения электрической энергией стратегически важных наземных, воздушных и космических объектов,

включая высотные (стратосферные) платформы и искусственные космические аппараты на низких и высоких орбитах, влияет на функциональность систем безопасности и приведёт к значительным финансовым потерям. Решить проблему доставки энергии на эти объекты можно с помощью лазерных систем передачи энергии (ЛСПЭ) [2, 3] путём беспроводной трансконтинентальной транспортировки мощных информационно-энергетических потоков по стратосферным

и космическим магистралям над территорией страны.

Возможности ЛСПЭ в значительной мере определяются видом базирования, которое может быть наземным, морским, воздушным (на самолёте или аэростате) либо космическим. Расстояния, на которые лазерные системы должны будут передавать энергию, зависят от целевого назначения и вида базирования (от единиц до десятков тысяч километров). Процесс передачи энергии при наземном расположении ЛСПЭ зависит от состояния атмосферы и от погодных условий. При наземном и воздушном базировании приходится преодолевать весьма жёсткие возмущающие факторы.

Влияние облачности, осадков и других явлений низких слоёв атмосферы на передачу лазерного излучения уменьшается с подъёмом на высоту выше 20 км. Три четверти массы атмосферы сосредоточены в нижних слоях до 10 км. Выше воздух значительно разрежен, хотя его частицы обнаруживаются на высоте 2000–3000 км над земной поверхностью. Нижний слой атмосферы (тропосфера, 10–15 км) нагревается от Земли, температура воздуха с высотой падает на 6°C/км. В тропосфере находится почти весь водяной пар, образуются все облака, происходит формирование и перемещение воздушных масс, образование циклонов и антициклонов (см. рис. 1). Лазерное излучение может передаваться на значительные расстояния по поверхности Земли при использовании нескольких систем ретрансляции стратосферного или космического базирования (см. рис. 2). Стратосферное размещение ЛСПЭ позволяет дорабатывать и ремонтировать аппаратуру. Поэтому техника и технология систем ЛСПЭ должны быть доведены до совершенства для стратосферного базирования, после чего можно переходить к созданию космических лазерных систем. Вопросы построения комплексов лазерного энергообеспечения (КЛЭО) актив-



Рис. 1. Структура атмосферы Земли по высоте

но рассматриваются, практически, во всех странах, занимающихся решением космических задач. Разрабатываются технологии и элементная база для построения ЛСПЭ на базе стратосферных платформ и аэростатов.

Система ЛСПЭ функционирует следующим образом. Излучение мощных лазерных источников формируется в пучок с заданными параметрами и направляется на бортовую оптическую систему высотного дирижабля, оснащённую опорным источником и системой ретрансляции излучения. Опорный источник необходим для высокоточного наведения лазерного излучения, контроля и последующей коррекции атмосферных искажений в нём на восходящей трассе. А система ретрансляции позволяет направлять мощное лазерное излучение на различные воздушные или космические объекты (потребители энергии), оснащённые приёмными фотоэлектрическими (ФЭ) панелями, преобразующими лазерное излучение в электрический ток. Слежение за центром панели осуществляется системой ретрансляции по опорному источнику. Для пространственной ориентации приёмных ФЭ-панелей относительно лазерного пучка используется оптико-электронная система наведения ФЭ-панелей преобразователя. Аппаратное управление функционированием КЛЭО осуществляется по наземным и космическим каналам связи в радио- или оптическом диапазонах.

Максимальная дальность однопролётной стратосферной магистрали составляет до 750 км. Максимальная передаваемая световая энергия – до 10 МВт, а диаметры ретранслируемых световых пучков – от 2 до 10 м. Длины волн излучения – 0,8–0,9 мкм, 1,06–1,15 мкм или 1,315 мкм. Максимальная эффективность преобразования световой энергии в электрическую – 30%, а потери в стратосферных и ретрансляционных элементах на однопролётной магистрали не превышают 0,1 дБ. Высота стратосферной энергетической магистрали составляет более 20 км.

Основным ограничивающим фактором предлагаемой концепции является тропосферный слой атмосферы Земли. Для преодоления негативного влияния тропосферного слоя атмосферы Земли можно реализовать многоярусную систему передачи энергии. На первый ярус, представляющий собой промежуточный транспортный дирижабль

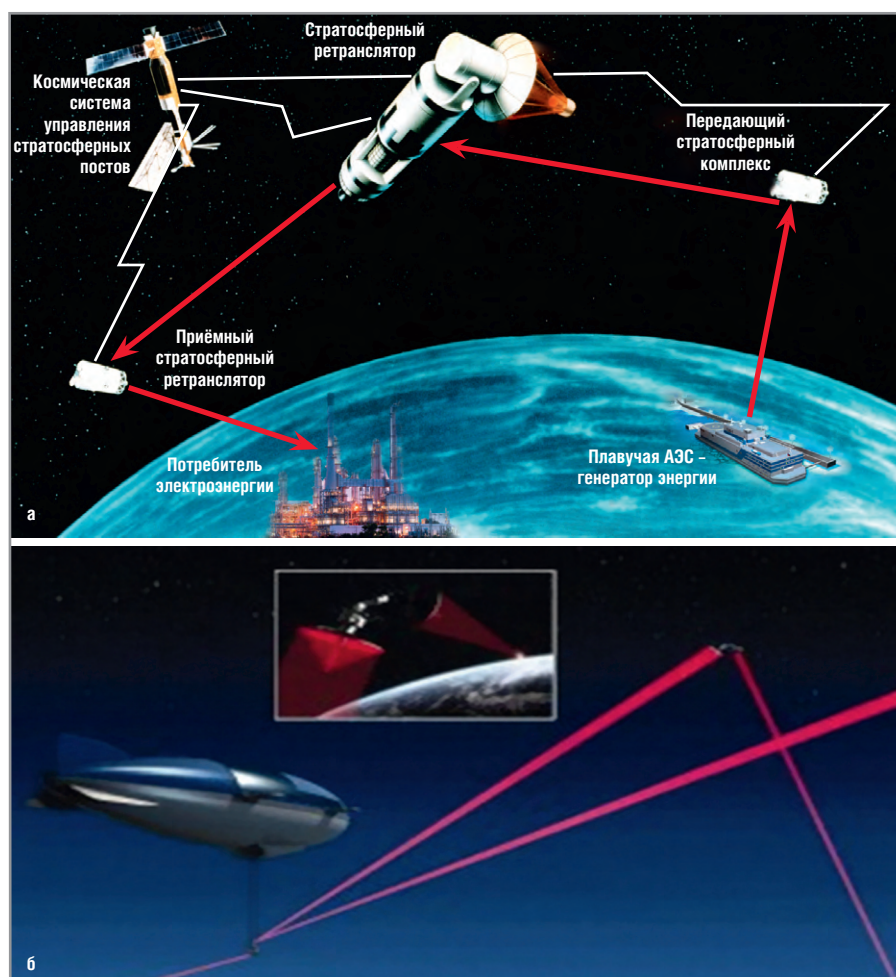


Рис. 2. Лазерные магистрали для передачи энергии из КЛЭО стратосферного (а) и космического (б) базирования

(высота его расположения 3–6 км), с поверхности Земли энергия передаётся по СВЧ-лучу или оптическому волоконному кабелю. На его борту происходит преобразование и передача энергии системой лазерного излучения на верхний ярус – стратосферную аэростатическую платформу, расположенную на высоте 16...30 км, куда лазерные энергетические линии могут доносить мощности мегаваттного порядка (5...10 МВт).

При передаче энергии лазерного излучения с поверхности Земли на высотные дирижабельные платформы (высота 20...25 км) для повышения качества пучка (уменьшения расходимости, исключения блуждания и других параметров) необходимо принимать меры по компенсации фазовых искажений лазерного пучка с использованием технологии силовой адаптивной оптики (САО).

При формировании лазерного канала с высокой выходной мощностью возникает следующая научно-техническая задача: лазерное излучение должно быть сформировано в пучок, расходимость которого не превышает

$10^{-6}...10^{-7}$ рад. Для этого необходимо использовать сложные средства коррекции искажений волнового фронта излучения, как в оптическом тракте лазера, так и в магистральном пространстве. Поиск эффективных решений показал, что именно выбор средств коррекции искажений определяет архитектуру построения лазера и ЛСПЭ в целом.

На первый взгляд, читателям может показаться, что авторы рассказывают о некоторых задачах из области научной фантастики. На самом деле эти задачи весьма актуальны уже сегодня и ими занимаются учёные во многих странах мира. Разработка технологии беспроводной передачи высоких энергий необходима для дальнейшего освоения и использования воздушного и космического пространства Земли уже в XXI веке.

ПЕРЕДАЧА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПО ЛАЗЕРНОМУ КАНАЛУ

Идея сбора солнечной энергии в космосе и транспортировки её на Землю по лазерному лучу сама по себе не нова. В 1968 году с такой идеей высту-

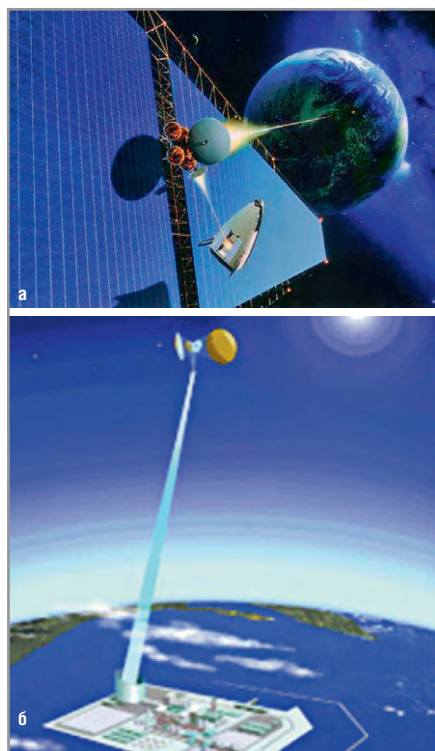


Рис. 3. Проект геостационарной солнечной электростанции SSPS (иллюстрация NSS/Mafic Studios):

а – платформа с солнечным коллектором;
б – передача энергии на Землю

пил американский учёный Питер Глейзер. Проект предусматривал размещение на орбите платформы, состоящей из солнечных батарей. Собранная энергия должна с помощью СВЧ-излучения или лазера передаваться на Землю, где она будет преобразована в электричество. Авторы подобных проектов утверждали, что излучение из космоса не повлияет на состояние ионосферы и атмосферы благодаря тому, что будет выбран диапазон частот излучения, который ими поглощается слабо. Микроволны могут передаваться через атмосферу Земли на частоте 2,45...5,8 ГГц. Оптимальным считается нижний диапазон – дальнейшее увеличение частоты невыгодно, поскольку СВЧ-излучение имеет более высокий уровень атмосферной адсорбции.

Наряду со сложнейшей задачей транспортировки электрической энергии на Землю, учёные обозначили и другую проблему. При создании подобного комплекса необходимо максимально повысить эффективность преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию для минимизации площади платформы на орбите. В настоящее время предложен ряд концептуальных решений. Физики из университета Осаки созда-

ли необычный керамический материал, содержащий хром и неодим. Комбинированная батарея на основе кристаллического кремния преобразует падающий свет (весь солнечный спектр) в лазерный луч с необычайно высокой эффективностью – 42%. Такая батарея была разработана и изготовлена консорциумом, созданным университетом Делавэра и компанией DuPont.

В приборе применена расщепляющая спектр и концентрирующая оптика, которая разделяет свет на три части с высокой, средней и низкой энергией лучей и направляет их на три участка солнечной батареи, покрытые тремя разными светочувствительными составами. Концентратор обладает широким углом восприятия лучей, что устраняет необходимость применения системы слежения за Солнцем и поворота батарей. Учёные считают, что данный преобразователь сыграет ключевую роль в японском проекте геостационарной солнечной электростанции SSPS (Space Solar Power System) (см. рис. 3).

Окончательный проект такой станции ещё не готов, но японцы утверждают, что платформа с солнечными батареями общей площадью 4 км² может переправлять на Землю достаточно мощный и слабо расходящийся луч, который на Земле будет преобразован в электрическую энергию. Выходная мощность такой станции может достигать 1 ГВт. Запуск и развёртывание столь крупного космического аппарата – сложная и дорогостоящая задача. Для участия в проекте стоимостью \$21 млрд объединились 16 крупнейших японских компаний во главе с корпорациями Mitsubishi Electric и IHI. В течение четырёх лет они планируют разработать и сконструировать конкретные устройства для транспортировки панелей на стационарную орбиту высотой 36 000 км, а также для сборки панелей и передачи электроэнергии на Землю с минимальными потерями. Первый опыт по передаче электричества с орбиты планируется провести в 2015 году, а окончательный ввод системы в эксплуатацию намечен на 2030 год.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МОЩНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

К лазерам с прямым преобразованием солнечного излучения предъявляются следующие требования:

а) наличие широкой (и, по возможности, непрерывной) полосы погло-

щения в области спектра, где сосредоточена основная доля излучения накачки;

б) существование процессов, приводящих при поглощении излучения к образованию инверсной населённости уровней;

в) восстанавливаемость химического состава лазерной смеси, в которой под действием излучения возможно протекание различных химических реакций.

Если накачка активной среды осуществляется непосредственно сконцентрированным солнечным светом, то вышеуказанные требования должны выполняться, естественно, и системами, поглощающими излучение преимущественно в видимой области спектра. Однако, в принципе, возможно создание солнечного лазера, в котором для накачки используется излучение, трансформированное с помощью чёрного тела из видимой области спектра в его инфракрасную часть.

Какой же должна быть мощность лазерной установки, чтобы говорить о её применении для передачи энергии?

Большой интерес представляют твёрдотельные иттрий-неодимовые лазеры N:(YAG) американской компании Northrop Grumman, суммарная мощность которых достигает 120 кВт, и волоконные непрерывные лазеры на иттербии российской компании «ИРЭ-Полус», выходная мощность которых достигает 100 и более киловатт. Такие лазеры могут иметь двойное назначение (оборонное и гражданское применение) в качестве дальномеров, систем обнаружения, сварки и резки сверхтвёрдых металлов и применяться для решения ещё целого ряда задач, не поддающихся решению другими технологиями и техническими средствами.

Волоконные лазеры сочетают в себе свойства генераторов излучения (лазерных диодов), усилителей излучения и высокоэффективных световодов. Волоконные лазеры переживают период бурного развития. Например, волоконные непрерывные лазеры на иттербии ($\Delta\lambda = 1,05\text{--}1,08\text{ мкм}$) достигли весьма впечатляющих параметров (см. таблицу 1).

В петербургском институте лазерной физики ГОИ им. С.И. Вавилова разработана концепция системы прямого преобразования солнечной энергии в лазерное излучение на базе фуллерен-кислород-йодного лазера (см. рис. 4). Показаны преимущества этой системы

и её конкурентоспособность по сравнению с аналогичными системами преобразования солнечной энергии. Выполнен анализ различных вариантов генераторов синглетного кислорода на основе твёрдофазных фуллеренсодержащих структур. Проведён цикл экспериментальных исследований процессов преобразования солнечной энергии в лазерное излучение с использованием разработанного макета фуллерен-кислород-йодного лазера с накачкой имитатором солнечного излучения. Получена генерация в импульсно-периодическом режиме работы лазера с частотой 10 Гц со средней выходной мощностью 30 Вт. Достигнут съём энергии лазерной генерации с единицы объёма активной среды 9 Дж/л.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Лазерное излучение может быть эффективно преобразовано в электро-энергию с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) на основе полупроводниковых гетероструктур. Области применения такого преобразования: беспроводные системы дистанционного энергопитания космических аппаратов лазерным излучением, передаваемым с Земли, передача энергии между космическими аппаратами и с космических аппаратов на Землю, а также с Земли на дирижабли системы телекоммуникаций, обеспечение энергопитания труднодоступных объектов.

Исходя из особенностей характеристик лазерного излучения и ограничений на параметры фотоэлектрической системы, основными требованиями к ФЭП являются высокий КПД при выбранных длинах волн лазерного излучения и возможность эффективной и надёжной работы ФЭП при различных уровнях средней плотности падающего излучения и повышенных температурах. Главной проблемой является обеспечение достаточно высокой эффективности фотоэлектрического преобразования падающего лазерного излучения в широком диапазоне изменения его плотности.

В реальном ФЭП на основе GaAs, оптимизированном для умеренной плотности (0,1...1 Вт/см²) лазерного излучения ($\lambda = 0,8$ мкм) получен КПД 40–43%. При увеличении плотности лазерного излучения до 50–70 Вт/см²

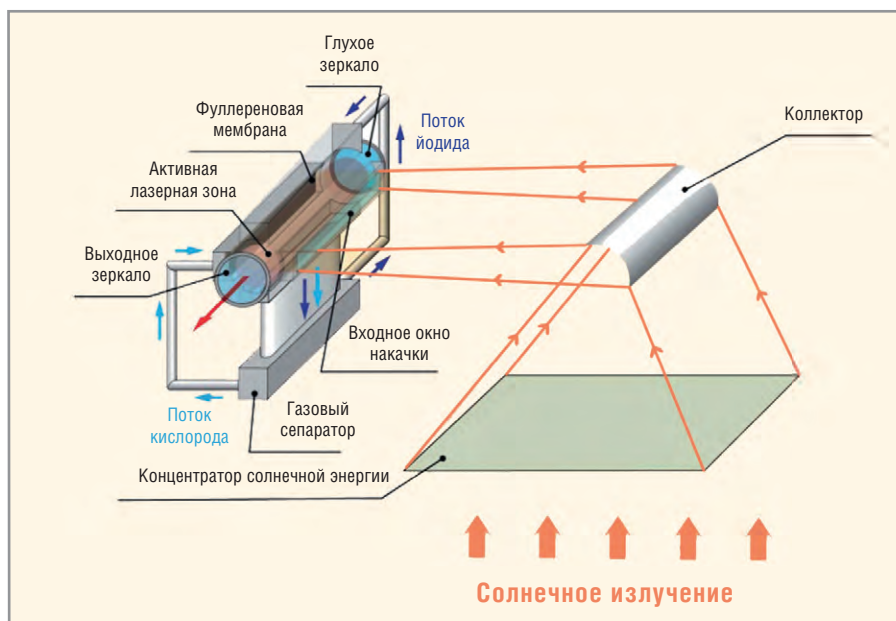


Рис. 4. Схема фуллерен-кислородно-йодного лазера с солнечной накачкой

Таблица 1. Характеристики волоконных непрерывных лазеров на иттербии ($\Delta\lambda = 1,05\text{--}1,08$ мкм)

Параметр	Данные
Выходная мощность, кВт	до 100
Возможность модуляции излучения на частоте, кГц	5
КПД, %	до 30
Канализация излучения по волокну диаметром, мкм	200
Длина волоконного световода, м	до 300
Качество пучка, мрад	$2,5 \times 6$
Срок службы не менее, ч	100 000
Габариты 10-киловаттного модуля, м	$0,86 \times 0,81 \times 1,50$
Масса 100-киловаттного модуля, кг	1000

Таблица 2. Оценка КПД преобразования энергии лазерного излучения

Тип лазера	Длина волн, мкм	КПД лазера, %	Материал приёмника	КПД преобразования лазерного излучения в электричество, %	Суммарный КПД, %
Кристаллические лазеры	1,03; 1,06	18...20	GaSb	36	6,5...7,2
			InGaAs	45	8,1...9
Волоконные лазеры	1,07 (Yb)	28...30	InGaAs	45	12,6...13,5
	1,55 (Er)	15...20	GaSb	54	8,1...10,8
Лазеры на парах щелочных металлов	0,77 (K)	30...35	AlGaAs	64	18...22
	0,795 (Rb)		AlGaAs	62	
	0,895 (Cs)		InGaAs	60	
			InP		

КПД ФЭП вырастает до 45%. Дальнейшее увеличение интенсивности лазерного излучения до 200 Вт/см² приводит к снижению КПД до 42%.

ФЭП на основе AlGaAs/GaAs обеспечивают эффективность преобразования лазерного излучения (на $\lambda = 1,08$ мкм) более 40% в широком диапазоне плотности мощности (0,1...200 Вт/см²). Увеличение КПД до 50–55% может быть достигнуто за счёт снижения оптических и омических потерь, а также за счёт смещения

длины волны лазерного излучения до 0,85 мкм. В таблице 2 представлены оценки КПД преобразования энергии излучения в электричество при оптимальной плотности падающего излучения 100 Вт/см² для трёх типов лазеров.

Тонкоплёночные ФЭП на основе арсенида галлия, разрабатываемые в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, позволяют сохранить высокий КПД при уменьшении толщины структуры ФЭП до величины менее 10 мкм. В результате более чем на порядок снижается рас-

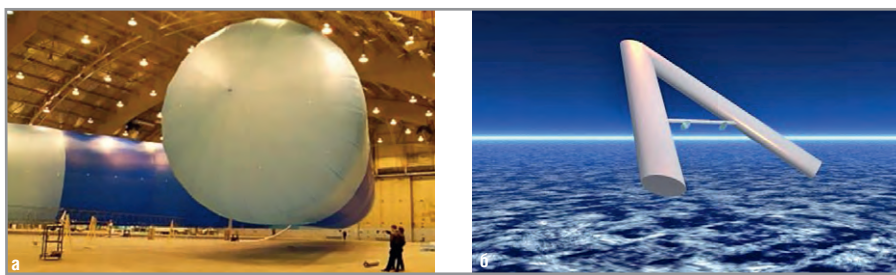


Рис. 5. V-образный беспилотный 53-метровый суборбитальный дирижабль Ascender:

а – в цеху; б – в полёте

ход арсенида галлия и, как следствие этого, в 2–3 раза снижается вес фотоэлектрических батарей. Цены на легированные индием (InGaAs) арсенид-галлиевые фотоэлектрические батареи составляют порядка \$3/ватт, и продолжают снижаться.

Концепция построения аэрокосмических энергетических платформ и магистралей

Мощность энергии, излучаемой Солнцем, составляет ориентировочно 63 МВт с каждого квадратного метра его поверхности. Интегральная плотность мощности солнечного излучения, достигающего атмосферы Земли, то есть газовой среды, которая вращается вместе с Землёй как единое целое, составляет в среднем 1367 Вт/м² (её называют солнечной постоянной). В ясный день поверхности Земли достигает не более 1000 Вт/м². Остальная часть солнечной энергии отражается и рассеивается в атмосфере молекулами газов, аэрозольными частицами, каплями воды и кристаллами льда. Это обуславливает одну из задач солнечной энергетики – как максимально эффективно уловить солнечные лучи, чтобы приблизиться к солнечной постоянной. Предлагается решить эту задачу с помощью огромных управляемых оптических зеркал, расположенных в ближнем космосе. Отражаемая от зеркал солнечная энергия может быть направлена на специальную стратосферную платформу (СП) или систему из нескольких таких платформ. На этих платформах должны быть расположены системы солнечных батарей, преобразующих солнечный свет в электричество.

Одним из вариантов СП является беспилотный дирижабль Ascender. Двухкилометровый гелиевый дирижабль с ионными двигателями по проекту калифорнийской компании JP Aerospace (см. рис. 5) может выходить почти на космическую орбиту. Разработчик

утверждает, что наполненные гелием воздушные шары способны подниматься на высоту 40–60 км и находиться там месяцами, наподобие орбитальных космических станций, принимая сменные экипажи с Земли.

Заполненный гелием аппарат с дистанционным управлением, оснащённый воздушными винтами, должен достичь расчётной высоты не менее 30,5 км. Также он должен продемонстрировать способность реагировать на команды с Земли, зависеть над заданной точкой, компенсируя моторами действие ветра, а также проходить путь между произвольно заданными пунктами на поверхности планеты. Испытание проводится, в первую очередь, для американских ВВС, которые рассматривают высотные аэростаты в качестве перспективных средств разведки и ретрансляции данных.

Стоимость постройки Ascender составила \$500 тыс. Это гораздо дешевле, чем покупка беспилотных самолётов-разведчиков, таких как Global Hawk (\$30 млн вместе со всем наземным оборудованием).

Калифорнийская компания полагает, что их детище послужит хорошим дополнением к другому дирижаблю – High Altitude Airship, который по заказу Пентагона разрабатывает фирма Lockheed Martin. Однако планы у JP Aerospace куда более грандиозные. Они не ограничиваются работой в интересах ВВС. Ascender длиной 53 метра – это лишь промежуточный этап на пути создания серии более крупных аэростатов.

Сейчас компания разрабатывает долговременную, парящую почти на границе космоса, станцию под названием Dark Sky Station с поперечником 3,2 км. Она должна висеть или медленно дрейфовать на высотах до 42 км и нести на борту обитаемую исследовательскую станцию, экипажи на которую доставлялись бы небольшими пилотируемыми аналогами Ascender.

Другой проект компании – Orbital Ascender. Это пилотируемый V-образный аэростат длиной 1,8 км, способный двигаться вокруг планеты по орбите и швартоваться к Dark Sky Station. Один оборот вокруг Земли занимал бы у гигантского корабля от 3 до 9 дней.

Для разгона и подъёма на высоты, недоступные обычным аэростатам (60 км и более), аппарат будет использовать ионные реактивные двигатели, питаемые топливными элементами и солнечными батареями. Положительную роль в рекордном подъёме сыграла бы и аэродинамика этого аппарата. Основатель компании JP Aerospace Джон Пауэлл (John Powell) заявляет, что ионные двигатели будут установлены на высотном аэростате и испытаны на высоте 30 км.

Калифорнийские инженеры пока даже не предсказывают, сколько лет понадобится для вывода в космос столь смелых проектов. Но такие аппараты, полагает Пауэлл, могли бы заменить нынешние космические корабли во многих сферах применения, заполняя промежуток между высотами, освоенными самолётами, и высотами, на которых летают низкоорбитальные спутники (см. рис. 6).

Следует иметь в виду, что на пути солнечного излучения к Земле происходит не только отражение солнечной энергии и рассеяние её в атмосфере. На неё также воздействует атмосферная турбулентность, под влиянием которой в большинстве районов Земли солнечное излучение будет иметь угловое рассеяние примерно 3...5 секунд. Учитывая расстояние от геостационарного спутника до Земли, получим отклонение оптического излучения примерно на 10 км, что легко компенсируется при помощи простейшей адаптивной системы. Проблема заключается в необходимости управлять огромными оптическими элементами прямо в космосе, на высотах порядка 35...40 тыс. км. Но гораздо существеннее проблема дороговизны энергии, так как её решение требует высокой эффективности преобразования световой энергии в электрическую. Это поможет сократить «лишние» площади солнечных батарей, которые необходимы для компенсации потерь энергии. Для решения данных задач учёные предлагают самые разнообразные проекты.

В одном из вариантов на космической орбите, на высоте примерно 40 тыс. км в районе геостационарных



Рис. 6. Dark Sky Station – многокилометровая космическая станция-аэростат

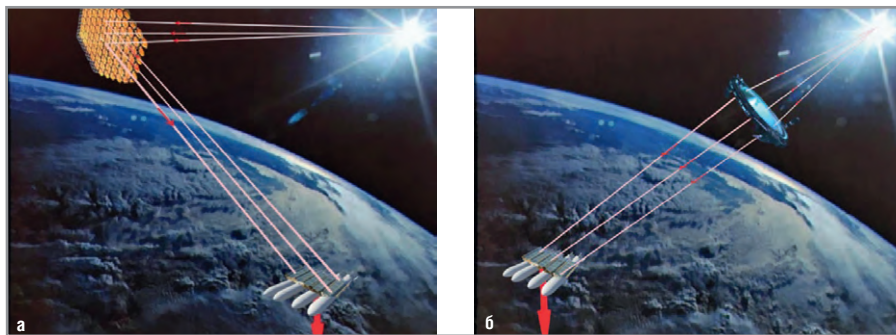


Рис. 7. Пассивная ретрансляция солнечного излучения к СБ, расположенным на СП

орбит, предлагается поместить систему слабо фокусирующих космических линз или зеркал (КЗ). Если осуществить прямую фокусировку отражённого от КЗ солнечного излучения прямо на СП или на Землю, появится необходимость адаптивно управлять этими зеркалами. Освещённая зона будет иметь площадь, равную сотням квадратных километров, однако плотность энергии в ней, по сравнению с естественной величиной плотности на поверхности Земли, будет ничтожно мала (см. рис. 7а).

Если исходить из того, что зеркала находятся на геостационарной орби-

те, а СП – на высоте порядка 20 км, тогда размеры КЗ становятся гораздо больше размеров СП. В одном из вариантов проекта КЗ представляют собой тонкую плёнку, натянутую на разворачиваемый в космосе каркас, который, в свою очередь, и осуществлял точную наводку зеркал на СП (см. рис. 7б).

В другом варианте предлагается разместить на ГСО космическую электростанцию (КЭС) с ЛСПЭ, а на СП – постоянно висящую на высоте 20...40 км энергетическую заправочную станцию, предназначенную для беспроводного энергообеспечения

объектов на Земле и в аэрокосмическом пространстве. На КЭС должны быть размещены либо системы прямой накачки лазера солнечным светом, либо солнечные батареи с ЛСПЭ. Особенностью высот 20...40 км над Землёй являются постоянно дующие ветры, которые будут дестабилизировать положение СП. Поэтому она должна быть снабжена системой стабилизации своего положения и постоянной юстировки КЗ. Согласование системы КЗ и СП можно осуществить с помощью оптических маяков и систем адаптивной коррекции, установленных на СП (см. рис. 8).

ProCHIP

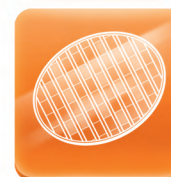
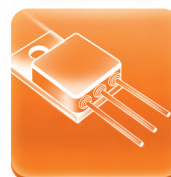
POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

- + Различные решения по подбору элементной базы
- + Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- + Поддержка склада
- + Оказание технической и информационной поддержки



+7 (495) 232-2522
INFO@PROCHIP.RU
WWW.PROCHIP.RU



Реклама



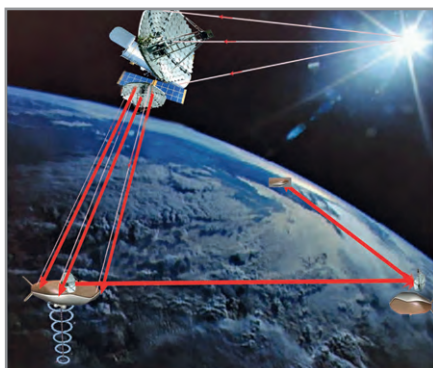


Рис. 8. Концепция аэрокосмической системы беспроводного энергообеспечения объектов



Рис. 9. Уничтожение космического мусора с помощью мощных лазеров

На Земле энергия лазерного излучения будет преобразована в электрическую или тепловую энергию. Системы пересылки лазерного излучения на трассе «СП – наземные станции» должны учитывать действие атмосферной турбулентности и погрешности стабилизации СП, а также корректировать искажающие действия. Для этого применяют активную и пассивную стабилизацию СП, а также корректировать искажающие действия. Для этого применяют активную и пассивную стабилизацию СП. Площадь приёмных солнечных батарей или других приёмников оптического излучения на Земле будет минимизирована за счёт фокусировки лазеров и повышения плотности мощности на 3–4 порядка.

На СП могут быть размещены лазеры с прямой накачкой солнечным излучением, кремниевые батареи, ретрансляторы и другое оборудование. Вариант размещения в космосе лазеров с прямой накачкой солнечным излучением и, минуя преобразования, отправка лазерных пучков на Землю с помощью расположенных на СП ретрансляторов, будет иметь наивысший КПД. Вариант с расположением на борту СП мощных лазеров и систем наведения может быть интересен тем, что он позволит начать работу по уничтожению космического мусора (см. рис. 9), так как СП всегда находится выше облаков. Вследствие фокусировки лазерных пучков площадь батарей на Земле будет существенно меньше, чем в случае прямого сбора солнечного света на поверхности Земли.

На СП и на наземных станциях будут размещены специальные маяки, представляющие собой точечные источники света. Излучение такого источника света, расположенного на Земле, проходит через атмосферу и принимается на СП специальным датчиком волнового фронта, сигналы которого будут управлять активными зеркалами для идеальной фокусировки лазерного пучка. Выбор длины волны лазе-

ра будет определяться возможностями минимизации негативных эффектов, обусловленных атмосферой Земли. Для выбранной длины волны можно заранее рассчитать так называемый размер когерентной зоны излучения видимого диапазона, которая позволяет обеспечить высокоточное наведение и фокусировку лазерного излучения на Землю. Оценки показывают, что при фокусировке на Землю размер когерентной зоны излучения видимого диапазона будет составлять примерно 20 см.

Структура аэрокосмической солнечной электростанции мегаваттной мощности (≥ 10 МВт) будет включать следующие компоненты:

- КЭС, содержащая ФЭП с КПД более 40% и лазерные каналы передачи мощности более 100 кВт со спектром излучения 0,8...2 мкм;
- аэростатная СП грузоподъёмностью 25...50 т, расположенная на высоте 20...35 км с ФЭП площадью ≥ 10000 м² и КПД $\geq 30\%$ в верхней части и передающими ректеннами диаметром до 100 м в нижней части;
- спутник с плёночными зеркалами-концентраторами диаметром 500...1000 м, 10–100 лазерными каналами передачи энергии с высокоточными индивидуальными системами наведения (10^{-6} рад.) и накопителями энергии (возможно, суперконденсаторами);
- центр управления всеми компонентами электростанции, расположенный на СП, (аэростат может иметь двигатели для ориентации и стабилизации своего положения).

Для космической электростанции выбор типов лазеров диктуется следующими требованиями: КПД более 30%, мощность более 10 кВт, близкое к дифракционному уровню качество пучка лазерного излучения, возможность суммирования пучков без потери качества, минимальные массогабаритные пара-

метры и отсутствие подвижных систем. Этим требованиям соответствуют волоконные лазеры.

Для такого многокомпонентного сооружения, включающего в себя лазеры, зеркала, концентраторы и маяки, требуется многоуровневая адаптивная система оптического наведения, способная учесть фазовые, деформационные и другие искажения-препятствия, встречающиеся на пути лучей. Об этой адаптивной оптической системе мы расскажем во второй части статьи.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванке В.А., Лопухин В.М., Саввин В.Л. Проблемы солнечных космических электростанций. Успехи физических наук. 1977. Т. 123. № 4. С. 633.
2. Ванке В.А., Лесков Л.В., Лукьянов А.В. Космические энергосистемы. М. Машиностроение. 1990. 240 с.
3. Ванке В.А. Электроэнергия из космоса – солнечные космические электростанции. Журнал радиоэлектроники. 2007. № 12. С. 98.
4. Glaser P.F. Power from the Sun: It's Future. Science. 1968. V. 162. № 11. P. 857.
5. Грилихес В.А., Орлов П.П., Попов Л.Б. Солнечная энергия и космические полёты. М. Наука. 1984. 216 с.
6. Матюхин В., Мельников В., Сысоев В., Верлан А., Харлов Б. Лидерство России в создании промышленных лазерных космических солнечных электростанций для трансляции электроэнергии на Землю. Информационные ресурсы России. № 1. 2013.
7. Райкунов Г.Г., Камков В.А., Мельников В.М., Харлов Б.Н. Центробежные бескаркасные крупногабаритные космические конструкции. М. Физматлит, 2009. 447 с.
8. Сигов А.С., Матюхин В.Ф. Лазерные системы для беспроводной передачи энергии. Альтернативный киловатт. № 6. 2012. С. 21.
9. Сысоев В.К., Пономаренко А.Д., Верлан А.А. Мировые тенденции развития космических электростанций. Альтернативный киловатт. № 5. 2011. С. 14.
10. Сысоев В.К., Верлан А.А., Насыров А.Ф. Солнечные электростанции на высотных дирижаблях. Научное обозрение. № 5. 2011. С. 312.
11. Сысоев В.К., Пичхадзе К.М., Грешилов П.А., Верлан А.А. Солнечные космические электростанции – пути развития. М. ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». 2013. 160 с.
12. Тугаенко В.Ю. Возможности и перспективы беспроводной передачи электрической энергии в космосе и из космоса на Землю. Альтернативный киловатт. № 2. 2011. С. 36.



Самые мощные в мире ПЛИС теперь в России



Первые произведенные на мощностях Intel® по технологии 22 нм 3D Tri-Gate ПЛИС Speedster22i компании Achronix

- До 1,1 млн программируемых LUT и 1.7 млн эквивалентных 4-входовых LUT
- До 145 Мбит встроенной памяти

Универсальные порты Serdes:

- до 16 портов 28 Гбит/с
- до 64 портов 12.75 Гбит/с

Аппаратно-встроенные контроллеры, не требующие расходов на интеграцию:

- до 4 контроллеров 10/40/100G Ethernet
- до 4 контроллеров 100G Interlaken
- до 2 контроллеров PCIe Gen 1/2/3 (x1, x4, x8) с аппаратной поддержкой DMA
- до 6 контроллеров DDR 2/3 до 1866 Мбит/с

Непрерывная цепь производства и поставок:

- производство на мощностях Intel® по технологии 22 нм 3D Tri-Gate
- прямые поставки из США через официальное представительство в Санкт-Петербурге

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ В РОССИИ

ООО «Лаборатория Высокопропускных СБИС»

Тел./факс: 7 (812) 648-00-86
www.achronix.ru | sales@achronix.ru

Преимущества FPGA с технологией Tri-Gate

Райан Кенни, Джефф Ватт, Altera Corporation

В данной статье исследуется влияние перехода дизайна транзисторов в полупроводниковой промышленности от традиционной планарной к 3D-структуре, что обеспечивает значительный рост возможностей высокоэффективных программируемых логических схем.

ВВЕДЕНИЕ

В феврале 2013 года компании Altera и Intel Corporation объявили, что следующее поколение высокоэффективных FPGA-продуктов (программируемых логических интегральных схем), выпускаемых компанией Altera, будет производиться с использованием 14-нм транзисторов с 3D Tri-Gate технологией от компании Intel. Благодаря этому компания Altera становится основным поставщиком эксклюзивных полупроводниковых технологий. Чтобы понять полезность технологии Tri-Gate для высокоэффективных FPGA, необходимо ознакомиться с основными этапами её разработки и структуры, а также с сопутствующими технологиями.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТРАНЗИСТОРОВ

В 1947 году в исследовательском центре Bell Laboratories был представлен первый транзистор германиевой «точечно-контактной» структуры. В начале 1954 года кремний использовали, чтобы производить двухполосные транзисторы, но только в 1960 году был построен первый кремниевый МОП-транзистор (MOSFET – полевой транзистор со структурой металл-оксид-полупроводник). Самые ранние MOSFET были 2D-планарными устройствами с током, текущим по поверхности проводника под затвором. Более 50 лет базовая структура устройств MOSFET оставалась практически неизменной.

Со времён появления в 1965 году закона Мура в изготовление и оптимизацию технологии MOSFET, с целью закрепления закона в номенклатуре и циклах планирования производства полупроводниковой промышленности, было внесено немало усовершенствований и улучшений. Последние 10 лет все улучшения эффективности и производительности MOSFET происходили благодаря прорывам в областях внедрения технологий «напряжённого кремния» (который обладает растянутой кристал-

лической решёткой) и High-K технологией металлического затвора (материал с высокой диэлектрической проницаемостью или высокой диэлектрической постоянной, использующийся как диэлектрик затвора).

Потенциал технологии «опоясывающего» затвора транзистора с целью повышения продуктивности MOSFET и устранения короткоканального эффекта был описан в 1991 году в статье Дига Хисамото (Digh Hisamoto) и его коллег из научно-исследовательской лаборатории Hitachi (Hitachi Central Research Laboratory): по мере уменьшения длины канала МОП-транзистора свойства последнего начинают резко отличаться от свойств обычных длинноканальных приборов. Публикация называлась «Влияние вертикальной структуры SOI «DELTA» на планарную технологию устройства» [1]. В 1997 году Управлением перспективных исследований DARPA группе разработчиков из Калифорнийского университета в Беркли был выдан грант на проектировку транзистора со сверхтонким подзатворным изолятором, основанного на принципе DELTA. В одной из первых статей, посвящённой описанию результатов проведённых исследований, устройству, за тонкую структуру в центре геометрии транзистора, было дано название «FinFET» [2].

ПОВОРОТНЫЙ МОМЕНТ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

Оптимизация и технологические исследования 3D-структур транзисторов продолжились в научно-исследовательских организациях ведущих компаний, занимающихся полупроводниковым оборудованием. Часть процессов и запатентованных разработок были опубликованы, а некоторые так и остались в стенах корпоративных лабораторий.

Инвестициями научных исследований в полупроводниковой промышленности распоряжаются согласно Меж-

дународной дорожной карте для полупроводников (International Technology Roadmap for Semiconductors – ITRS). ITRS является одним из наиболее известных международных исследовательских проектов. Спонсорами проекта выступают организации, считающиеся ведущими разработчиками и производителями полупроводникового оборудования. ITRS сосредотачивается на прогнозировании появления новых технологий в области полупроводников, которые позволят перейти к выпуску продуктов с более высокими характеристиками. Документальные заключения ITRS и рекомендации по вопросам производственных возможностей таких технологий, как «напряжённый кремний» и металлические затворы с диэлектриком High-K, а теперь и использование 3D-транзисторов, призваны подчеркнуть справедливость закона Мура. За прошедшее десятилетие исследования в области 3D-транзисторов, основанные на докладах ITRS, а также экспертизе научных статей и патентов, существенно расширились.

ВНЕДРЕНИЕ И ИСПЫТАНИЯ

Транзисторы с 3D-структурой попали в центр внимания промышленности и заняли своё место в истории технологии транзисторов MOSFET благодаря двум важным заявлениям, которые были сделаны в течение последних 4 лет.

Первое заявление было озвучено 4 мая 2011 года компанией Intel Corporation. В нём сообщалось о транзисторах с технологией Tri-Gate, отобранных для планирования и изготовления полупроводникового оборудования по 22-нм техпроцессу. Заявлению предшествовало десятилетие исследований и разработок. При этом использовались работы господина Хисамото (Hisamoto) и других исследователей в сфере развития и оптимизации FinFET. Оно подтверждало целесообразность и рентабельность транзисторов с технологией Tri-Gate в производстве полупроводников, а также декларировало лидерство компании Intel в полупроводниковой промышленности.

Второе заявление являлось публикацией технологической дорожной карты ITRS. Многие компании-произ-

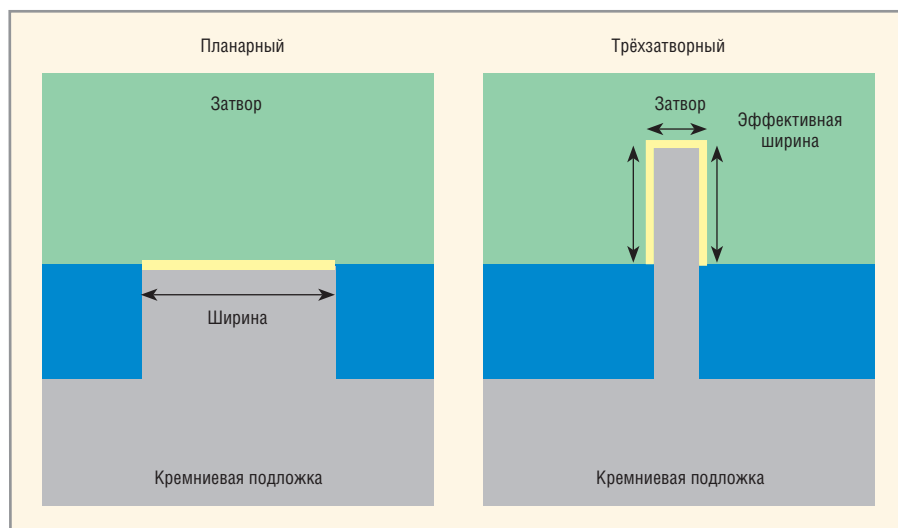


Рис. 1. Эффективность ширины каналов планарного транзистора и транзистора Tri-Gate структуры

водители полупроводникового оборудования определили технологию 3D-транзисторов как основной инструмент достижения высоких показателей в полупроводниках над техпроцессами 20-нм или 22-нм.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ TRI-GATE

Транзисторы с 3D-геометрией и структурой Tri-Gate имеют существенные преимущества перед транзисторами планарной структуры. Все они относятся к «опоясывающему» эффекту затворов MOSFET вокруг источника утечки. Эти преимущества отражаются в возрастающей производительности, уменьшении энергопотребления и тока утечки, компактности дизайна транзистора и в уменьшении подверженности эффекту одиночного сбоя (SEU) ионизирующими зарядами (см. рис. 1).

Ключевое преимущество транзисторов с технологией Tri-Gate перед транзисторами традиционной планарной структуры может заключаться в эффективной ширине проводящего канала.

Текущая способность проводимости и производительности транзистора непосредственно пропорциональна эффективной ширине канала. Эффективная ширина канала в транзисторе с 3D-структурой может быть значительно увеличена относительно планарного благодаря способности увеличивать ширину в третьем измерении, как показано на рисунке 1. Это улучшает приспособляемость конструкции для проектировщика транзистора и увеличивает производительность без тех ухудшений, которые появляются при увеличении ширины канала в планарном транзисторе.

Преимущество по энергопотреблению проявляется благодаря усилению контроля канала электрическим полем затвора на трёх сторонах ребра. Это понижает порог тока утечки от источника до стока в «закрытом» состоянии по сравнению с планарным транзистором. Кроме того, благодаря Tri-Gate транзисторам, мощность напряжения может быть значительно уменьшена, и в то же время из-за увеличенной эффективной ширины канала, по сравнению с планарным транзистором, будет поддерживаться большая скорость. В результате эффективный расход энергии и уменьшение тока утечки дают существенную экономию энергии.

Преимущество в энергосбережении на своих форумах Intel Developer Forums (2011, 2012) компания Intel Corporation объясняла более крутой подпороговой кривой Tri-Gate транзистора (см. рис. 2). Проектировщики также могут использовать преимущества более крутой подпороговой кривой для сокращения тока утечки планарного транзистора той же производительности и для транзистора существенно более высокой производительности, а также для комбинации обоих.

При появлении каждого нового поколения технологии производства кремния происходит сжатие геометрии транзистора или уменьшение общей его структуры и затвора, что увеличивает плотность. Сама 3D-структура Tri-Gate также приводит к увеличению плотности транзисторов, увеличивая ширину проводящего канала транзистора в третьем измерении. Это позволяет проектировщикам выбирать альтернативный размер и шири-

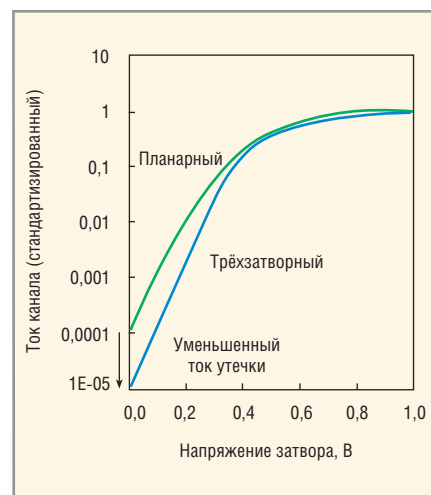


Рис. 2. Транзисторы структуры Tri-Gate с более крутой подпороговой кривой

ну «ребра», основываясь на рабочих характеристиках, производительности и плотности транзистора. В случае если Altera перейдёт на структуру Tri-Gate по 14-нм техпроцессу, компания извлечёт из этого немалую выгоду: сжатие геометрии транзистора до 14-нм техпроцесса и дальнейшее увеличение плотности благодаря технологии Tri-Gate в 3D-транзисторах.

Снижение влияния эффекта одиночного сбоя (SEU) достигается благодаря небольшой площади поперечного сечения соединения ребра с основанием в структуре Tri-Gate. Это уменьшает область, в которой может быть коллектирован заряд, произведённый ионизацией частицы, что наблюдается в транзисторах плоскостной структуры. Малая вероятность появления заряженных частиц, вызывающих всплески в схемах, основанных на транзисторах, подтверждается ранними тестированиями внедрения транзисторов Tri-Gate в устройства Intel по 22-нм техпроцессу.

ПРОИЗВОДСТВО УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ TRI-GATE

Преимущества транзисторов Tri-Gate изучены и достаточно хорошо известны, но при внедрении их в устройства ориентируются не только на технологии и возможности производства, но, в первую очередь, на рентабельность.

Производство полупроводников малых конфигураций (40-нм, 28-нм, 22-нм или 20-нм и выше) требует больших расходов на научные исследования. Именно это ограничивает применение данной технологии, так как на её развитие требуются миллиарды дол-

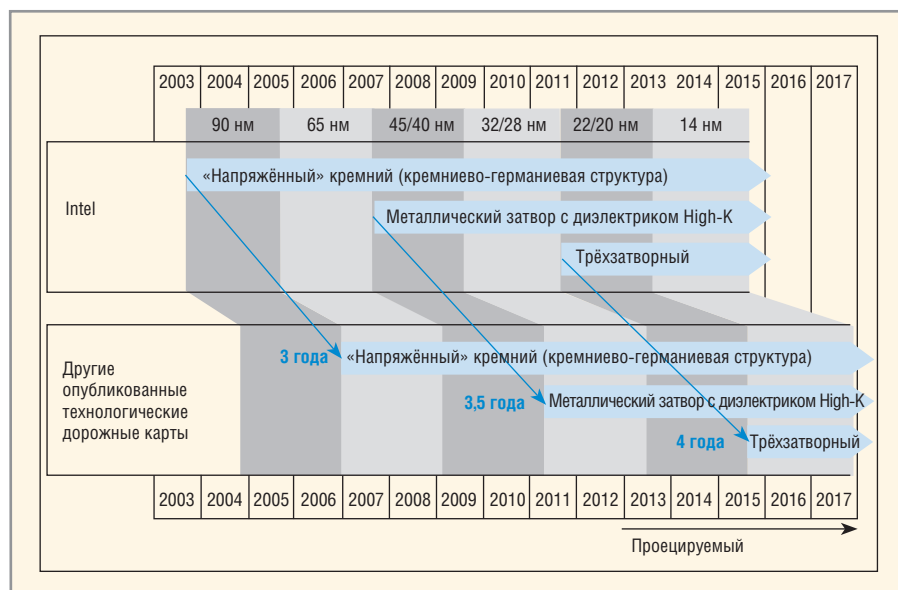


Рис. 3. Лидерство Intel в транзисторных технологиях

ларов. В результате извлечь выгоду из транзисторов с 3D-технологией способна только группа компаний. Intel Corporation – единственная компания, которая уже осуществила проектирование по 22-нм техпроцессу и может предоставить готовые данные для массового производства транзисторов с технологией Tri-Gate. Так в первом квартале 2013 года компанией было выпущено 100 млн единиц продукции, основанных на технологии Tri-Gate.

Был выявлен ряд проблем и некоторых особенностей затворов 3D-структуры, что повлекло за собой подгонку производства и самой структуры транзисторов под имеющиеся технологии. Речь идёт о моделировании новых паразитных ёмкостей, чего не делалось в традиционных планарных структурах, а также о пересмотре планировки и использовании методов двойной литографии на имеющемся оборудовании для формирования более частых рёбер.

Автоматизация процесса проектирования электроники (EDA) также является важным фактором, влияющим на удобство использования разработчиком FinFET и Tri-Gate технологий. В 2013 году обучением проектированию полупроводниковых продуктов будущего с учётом влияния правил применения Tri-Gate занимались в основном две компании – Cadence и Synopsys.

Влияние на FPGA и на производительность других полупроводниковых устройств

Главное преимущество технологии Tri-Gate для электронных устройств,

основанных на FPGA, подтверждает закон Мура и заключается в устойчивом развитии улучшений в плане плотности, эффективности, энергопотреблении и стоимости транзистора. Это касается индустрии бытовой электроники, развития компьютерного оборудования, усложнения ПО, устройства хранения памяти, разработки и креативности мобильных устройств, а также автоматизации и производительности управленческих работ.

Благодаря этой технологии значительно улучшился контроль над рассеиванием мощности в полупроводниках как в статическом, так и в активном состоянии. Благодаря этому программируемая логика, подкреплённая 14-нм техпроцессом, способна конкурировать с ASIC (специализированными интегральными микросхемами) и ASSP (специализированными стандартными продуктами – разновидностью специализированных интегральных схем). Она даёт значительные преимущества при программировании, влияет на производительность, добавляет универсальности, позволяет использовать Open Computing Language (OpenCL™ – открытый язык вычислений) проектирования программного обеспечения и интеграцию DSP (технологии управления и оптимизации), трансиверы и конфигурируемые I/Os.

В своём отчёте перед инвесторами компания Intel Corporation предоставила данные обо всех тех преимуществах, которые были выявлены в процессе внедрения технологии Tri-Gate

в микропроцессорные устройства компании. Это сокращение потребляемой транзистором мощности более чем на 50% при переходе от планарной структуры по 32-нм техпроцессу к Tri-Gate структуре по 22-нм техпроцессу [3], улучшенная кривая плотности распределения ошибок [3] и снижение степени подверженности SEU в 4–10 раз [4].

Место компании Intel в полупроводниковых технологиях

На нескольких общественных форумах, включая Intel Developer's Forums, и на конференциях инвесторов Intel определила те области, в которых компания будет сохранять лидерство. На рисунке 3 показаны расчёты компании Intel, определяющие количество лет, в течение которых она будет оставаться лидером в своей отрасли благодаря своевременному внедрению технологии «напряжённого кремния» и технологии металлического затвора High-K в серийное производство. Учитывая производственное развёртывание технологии Tri-Gate по 22-нм техпроцессу в 2011 году, Intel оценивает свой отрыв от конкурентов сроком в четыре года.

«В первом квартале 2013 года мы уже отгрузили 100 млн 22-миллиметровых (Tri-Gate) процессоров, используя нашу революционную транзисторную 3D-технология, в то время как другие всё ещё работают над созданием своих первых блоков», – сказал в ходе телеконференции, проходившей 16 апреля 2013 года и посвящённой финансовой деятельности компании, генеральный директор Intel Пол Отеллини (Paul Otellini).

Другое ключевое преимущество, которое поможет Intel внедрить технологии по 14-нм техпроцессу, – это их знаменитая стратегия «Tick-Tock». Цикл «Tick» подразумевает внесение изменений в микроархитектуру CPU-продуктов. Далее следует цикл «Tock» – уменьшение геометрии полупроводника. Intel намерена продолжить сжатие геометрии транзисторов с 22 нм до 14 нм. Что касается аналогичных технологических процессов на полупроводниках у других изготовителей, то пока неизвестно, предусматривают ли их дорожные карты дальнейшее сжатие.

Доступ к преимуществам технологии Tri-Gate через FPGA Altera

Воспользоваться преимуществами технологии Tri-Gate компании Intel смогут только пользователи высокоэффективных FPGA, выпущенных компанией Altera® по 14-нм техпроцессу. Это результат особого производственного сотрудничества двух компаний, упомянутых в начале статьи.

Существенные преимущества полупроводниковой технологии Tri-Gate позволят компании Altera наделять SoC и FPGA невероятной производительностью. Объём работы ядра, по сравнению с другим FPGA высокого уровня, удвоится, что выведет продуктивность работы FPGA на уровень гигагерца. При этом энергопотребление, благодаря комбинации процесса, архитектуры и усовершенствования программного обеспечения, уменьшится на 70%.

Несмотря на то что детали производственного 14-нм процесса от Intel Corporation ещё не обнародованы, пользователи Altera могут уже сегодня воспользоваться преимуществами, которые дают FPGA-устройствам технологии Tri-Gate: производительностью и малым энергопотреблением. Это возможно благодаря линейке продуктов Arria® 10 для FPGA. Затем пользователи смогут воспользоваться дизайном Pin-for-Pin, перейдя со временем с Arria 10 FPGA и SoC на Stratix® 10 FPGA и SoC.

Это позволит пользователю FPGA и разработчику архитектуры системы начать проектировать продукты, которые смогут сочетать в себе программы

Arria 10 и Stratix 10, притом с минимумом изменений, модификаций и реконструирования. В результате выпускаемые FPGA будут обладать самой высокой производительностью и самым низким уровнем энергопотребления среди аналогов, созданных по 20-нм процессу, что сопоставимо с производительностью и энергопотреблением этих же продуктов, созданных по технологии Intel 14 нм с использованием Tri-Gate.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исторически сложилось так, что определение самых высокоэффективных продуктов FPGA – это весьма субъективный параметрический процесс сравнительного анализа. Но использование технологии Tri-Gate по 14-нм техпроцессу создаст самые высокоэффективные FPGA, которые, безусловно, превзойдут транзисторные технологии. Технология Intel Tri-Gate по 14-нм техпроцессу станет уже вторым поколением высокопродуктивной технологии. Intel Tri-Gate по 14-нм техпроцессу сочетает в себе как выгоды технологии Tri-Gate, так и преимущества сокращения полного транзисторного процесса. Единственная компания, имеющая доступ к данной технологии Intel, – это Altera. Проектирование систем с использованием технологии, основывающейся на Tri-Gate, – гарантия целого ряда преимуществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Impact of the Vertical SOI «DELTA» Structure on Planar Device Technology,

IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 38. No. 6. June 1991. www.ieeeexplore.ieee.org/iel1/16/2677/00081634.pdf.

2. FinFET – A Self-Aligned Double-Gate MOSFET Scalable to 20 nm, IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 47. No. 12. December 2000. www.eecs.berkeley.edu/~hu/PUBLICATIONS/PAPERS/700.pdf.
3. Mark Bobr. Intel Developer's Forum. 6 September 2011. www.intel.com/idf/library/pdf/sf_2011/SF11_SPCS002_101F.pdf.
4. Soft Error Susceptibilities of 22 nm Tri-Gate Devices, IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE. Vol. 59. No. 6. December 2012. www.ieeeexplore.ieee.org/iel5/23/4689328/06338321.pdf.
5. Intel Adds Altera as a Customer. The Wall Street Journal. 25 February 2013. www.online.wsj.com/article/SB10001424127887323384604578326641821604714.html.
6. Intel Reinvents Transistors Using New 3D-Structure. Intel Corporation. 4 May 2011. www.newsroom.intel.com/community/intel_newsroom/blog/2011/05/04/intel-reinvents-transistors-using-new-3-d-structure.
7. International Technology Roadmap for Semiconductors. ITRS.com. 2011. www.itrs.net/.
8. Intel Earnings Call 1Q2013. 16 April 2013. www.newsroom.intel.com/community/intel_newsroom/blog/2013/04/16/intel-reports-first-quarter-revenue-of-126-billion.
9. White Paper: Meeting the Performance and Power Imperative of the Zettabyte Era with Generation 10 FPGAs and SoCs. Altera.com. June 2013. www.altera.com/literature/wp/wp-01200-power-performance-zettabytegeneration-10.pdf.

Перевод Эрмина Машуряна

Новости мира News of the World Новости мира

Японская революция в микроэлектронике

Японская компания MinimalFab продемонстрировала на выставке Semicon Japan 2014 линию, переворачивающую наши представления о производстве чипов.

Вместо огромных чистых комнат и оборудования мегаразмеров предлагаются мини-фабы для производства отдельных чипов размером полдюйма.

Компания (как стартап) была организована четыре года назад. Прямо на выставке была за два дня безо всяких чистых комнат развернута линия из 25 отдельных установок и в течение дня представлен полный цикл создания К-МОП транзисторной

структуры. Линия включает в себя все стандартные процессы: от нанесения фоторезистов (через фотолитографию и ионную имплантацию) до контроля функционирования. Кристаллы помещены в специальные вакуумноизолированные мини-контейнеры, что в итоге не требует специальных чистых комнат.

На данный момент технология освоена под 0,8 мкм. Ожидается, что через два года удастся отработать 22 нм.

Небольшая производительность, мультитехнологичность, минимальная стоимость чипа (ориентировочная стоимость всего комплекта оборудования из 55 установок составляет приблизительно



\$ 5 млн), отсутствие чистых комнат и громадных затрат, с этим связанных, – именно то, что нужно российскому рынку сегодня, да и завтра!

www.zelenograd.ru

Доступная зарядка

Александр Хлынов (Москва)

Ситуация на рынке электромобилей и гибридных машин, да и существование самого рынка, напрямую зависит от развития необходимой инфраструктуры – сети удобных зарядных станций. В статье даётся оценка потенциала рынка компонентов для электромобилей, перечислены основные проблемы зарядки и описываются перспективные способы снабжения авто электроэнергией.

Расстановка сил

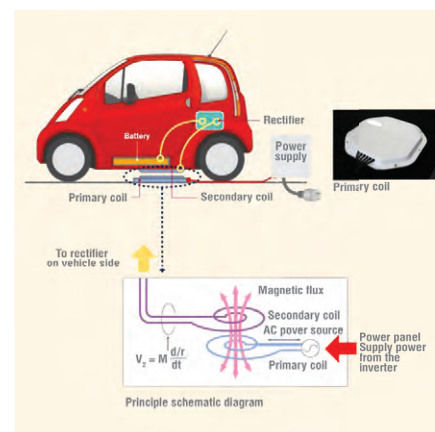
Год 2014-й может стать переломным на мировом рынке электромобилей и машин, оснащённых гибридными силовыми установками, но при этом имеющих возможность подзарядки от электросети. Существующие темпы реализации этих транспортных средств позволяют экспертам авторын-ка, и в частности аналитикам «Ассоциации европейского бизнеса» (АЕБ), предположить, что к концу 2014 года их количество в мире достигнет 2,2 млн штук.

Согласно прогнозам специалистов компании IHS рынок серийных электромобилей (EVs) и гибридных авто (HEVs), под воздействием ужесточения норм выбросов загрязняющих веществ (1 января 2015 года вводится протокол Евро 6), резко вырастет уже в этом году. Наибольший скачок в объёме производства произойдёт в сегменте HEVs: до 403 тысяч выпущенных гибридов (в 2013 году было произведено 242 тысячи таких авто). Всё больше автопроизводителей заявляют о разработке собственных электромобилей и так называемых «подключаемых гибридов», чьи батареи могут заряжаться как через генератор от двигателя внутреннего сгорания, так и от электросети. Новые модели электромобилей оснащаются всё более ёмкими аккумуляторными батареями (до 40 кВт·ч), гарантирующими пробег машины на одной зарядке до 240 км и более. Это стало возможным благодаря всё ожесточающейся конкуренции между ведущими производителями аккумуляторов: компаниями LG Chem, которая поставляет аккумуляторы для электромобиля Chevrolet Volt, компанией Panasonic, сотрудничающей с автопроизводителем Tesla, и компанией Samsung SDI, оснащающей аккумуляторами электромобиль BMW i3. В результате стоимость продукции снижается, что отражается и на

технических характеристиках выпускаемых автомобилей на электротяге.

Ёмкость рынка

Большие надежды на предсказываемый рост рынка электромобилей и подключаемых гибридов возлагает немецкий производитель чипов Infineon. Согласно ожиданиям специалистов компании увеличение продаж Infineon в этом секторе может быть десятикратным. Другие производители чипов, такие как Qualcomm, также видят в рынке электромобилей весьма прибыльный «второй фронт» для реализации своей продукции. Хотя продажи Infineon в сегменте электромобилей сегодня составляют только одну десятую часть от продаж в сегменте традиционного автомобильного рынка, президент Подразделения автоматизации Йохен Ханебек (Jochen Hanebeck) предполагает, что «к концу десятилетия оба сегмента рынка будут иметь равные доли продаж». В настоящее время продажи микросхем Infineon, разработанных для электромобилей, оцениваются в десятки миллионов евро, что составляет примерно одну треть от общих продаж в автомобильной отрасли, равных 1,72 млрд евро. Это лучше всего объясняет интерес компании Infineon к рынку электромобилей и подключаемых гибридов. При этом следует учитывать, что трансмиссия электромобиля обычно нуждается во вдвое большем количестве микросхем, транзисторов и других полупроводников, чем трансмиссия автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. В результате общая стоимость компонентов Infineon в каждом электрическом авто, например в BMW i3, достигает нескольких сотен евро. Для оценки ёмкости рынка следует также учитывать и то, что в ближайшие месяцы будет налажено производство целого ряда электромоби-



лей и подключаемых гибридов от других автопроизводителей: Volkswagen e-up!, Mercedes B-Class Electric, Audi A3 e-tron, а также машины на электротяге от Cadillac, Saab, Volvo и даже АвтоВАЗа.

Война форматов

Развитие рынка электромобилей, а значит и увеличение спроса на микросхемы, транзисторы и другие полупроводники, невозможно без развития инфраструктуры зарядных станций, которые должны сделать машины на электротяге пригодными для повседневного бесперебойного использования, независимо от преодолеваемых расстояний. Сами же зарядные станции также являются отдельным рынком, интересным как компании Infineon, так и Qualcomm и ряду других фирм. Согласно прогнозам компании Navigant Research международный доход от продаж устройств питания для электромобилей вырастет с \$567 млн в 2013 году до \$5,8 млрд в 2022 году.

Первой и единственной страной в Европе, которая развернула сеть зарядных станций для электромобилей с общенациональным покрытием, стала Эстония. На её территории насчитывается 165 «быстрых» электрозаправок. Они расположены не только в городах, но и вдоль шоссе на расстоянии 40–60 км друг от друга. Самая же обширная сеть электрозаправок, состоящая из более чем 4 тысяч станций, в числе которых 100 «быстрых», находится в Норвегии. Голландское правительство планирует установить более 200 зарядных станций по всей стране к 2015 году, чтобы обеспечить, по крайней мере, по 1 станции на каждые 50 км дорог. Компания Tesla Motors, чьи автомобили способны преодолеть до 500 км без подзарядки, несмотря на этот невероятный показатель, также озабочена созданием необходимой для электромобилей инфраструк-

туры, которая поможет им лучше продаваться. Тем временем возникает вопрос универсальности зарядных станций, их совместимости со всеми выпускаемыми автомобилями на электротяге.

В сентябре 2013 года компания ABB получила сертификацию Евросоюза для быстрых зарядных 50-киловаттных станций Terra 53 CCS (Combined Charging System – Комбинированные зарядные системы) DC для электромобилей. Таким образом, компания ABB стала первым поставщиком быстрых зарядных станций типа CCS DC, который прошёл сертификацию Евросоюза независимым зарегистрированным экспертным агентством по оценке соответствия. Станция Terra 53 доступна в двойных и тройных конфигурациях, с возможностью обслуживания всех типов выпускаемых электромобилей, поддерживающих протоколы зарядки AC-Type 2 Mode 3, DC-CHAdeMO и DC-CCS. Зарядная станция Terra 53 была успешно испытана совместно с компаниями Volkswagen и BMW. Последняя использовала Terra 53 для демонстрационной зарядки модели i3 на автошоу во Франкфурте.

На данный момент большей популярностью пользуется стандартизированная система Type 2, возможности которой варьируются от 1-фазной 16 А (около 3,7 кВт) до 3-фазной 32 А (около 22 кВт) AC. Там, где зарядка будет происходить по типу DC (в соответствии с японским стандартом CHAdeMO или европейским CCR), быстрые зарядные станции будут рассчитаны на 50 кВт.

В 2013 году началось соперничество, так называемая «война форматов», между автомобильными компаниями, поддерживающими два разных типа системы питания. Первый тип – стандарт CHAdeMO, разработанный при финансовой поддержке Nissan, Mitsubishi и Toyota. Второй тип – стандарт International J1772 Combo, разработанный Обществом инженеров автомобильной промышленности (Society of Automotive Engineers' (SAE)), при финансовой поддержке компаний GM, Ford, Volkswagen и BMW. Обе технологии позволяют заряжать батареи электромобилей на 80% примерно за 20 минут, и, конечно, обе системы несовместимы. Ещё одной потенциально конкурирующей технологией, которая

близка к практическому применению, может стать беспроводное питание.

«Рельсы» будущего

Разработанная несколько десятилетий назад беспроводная технология передачи энергии была относительно низкоэффективным решением. Использование её до недавнего времени ограничивалось в основном промышленным применением. Например, питанием роботизированных транспортных средств и кранов на предприятиях. Но технология беспроводной передачи электроэнергии начинает всё больше интересовать рынок электромобилей.

Известно, что беспроводная система основывается на принципе электромагнитной индукции. Благодаря технологическим инновациям эффективность передачи электроэнергии с помощью беспроводных зарядных устройств возросла до 90% и даже более. Для минимизации энергетических потерь инженеры Джон Бойс (John Boyes) и Грант Кович (Grant Covic) из университета Окленда в Новой Зеландии разработали специальную схему индукционных катушек. Они также выяснили, как энер-







Электроника → Транспорт

2015

13-15 мая 2015 г.

Москва, Сокольники

9-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

В рамках:

13-16 мая 2015 / Москва, ВВЦ

Российская
неделя
общественного транспорта

ТЕМАТИКА:

- Системы диспетчеризации и управления транспортным парком (грузовые автоперевозки, пассажирский транспорт, такси, спецтранспорт)
- Комплексы навигации и связи
- Системы безопасности и видеонаблюдения
- Системы контроля пассажиропотока и оплаты проезда
- Технологии снижения расхода топлива
- Рекламно-информационные комплексы
- Автоматика, телемеханика
- Измерительные и диагностические приборы
- Силовая электроника для транспорта
- Электронные, электротехнические компоненты

КОНФЕРЕНЦИИ:

- “Практические особенности внедрения информационно-навигационных технологий на городском пассажирском транспорте”
- “Электронные модули для транспортного приборостроения и машиностроения”
- “Технологии оплаты проезда и учета пассажиропотока”
- “Рекламно-информационные технологии, Digital Signage в транспортной инфраструктуре”

**Информационные технологии для транспорта
и транспортной инфраструктуры**



ПОДДЕРЖКА:



КОНТАКТЫ:

тел.: +7(495) 287-4412
E-mail: info@e-transport.ru

<http://www.e-transport.ru>

Реклама

гия может быть передана, когда катушки смещены. Таким образом, подзарядка перестала требовать точной парковки электромобиля возле зарядной станции. Использовать оклендский патент для разработки собственных беспроводных зарядных устройств будут две недавно сформированные компании: германская IPT Technology GmbH и британское подразделение Halo компании Qualcomm. В данный момент идёт испытание беспроводной зарядки в условиях реального города: уже с января 2014 года в британском городе Милтон-Кинс началось использование омнибусов, заряжающихся прямо на маршруте при помощи беспроводных технологий, с использованием контактных платформ IPT (Innovative Power Transfer). Для оценки технической и коммерческой жизнеспособности проекта восемь электрических автобусов будут ежедневно курсировать по 24-километровому маршруту в течение пяти лет. Также с 2002 года беспроводная технология питания IPT используется в небольших автобусах в Генуе и Турине. С 2012 года модульная беспроводная зарядная система второго поколения также применяется для подзарядки 12-метрового автобуса в городе Хертогенбос в Нидерландах. Тем не менее, по прогнозам компании IDTechEx, эпицентром использования технологии беспроводной зарядки общественного транспорта станет Китай, который намерен приобретать более 80% всех выпускаемых в мире электроавтобусов. Компания IPT также успешно опробовала зарядку с помощью беспроводных технологий на Mercedes EV.

Разработки компании Qualcomm Halo поддерживают множество решений для беспроводной передачи энергии, подходящих многим типам транспортных средств: от небольших городских электрокаров до сверхмощных гоночных автомобилей. Компания уже разработала следующие варианты зарядки:

- система 3,3 кВт на электромобиле, включая два легковых автомобиля Citroën C1, которые были испытаны компанией UK CABLED EV;
- система 7 кВт на экспериментальном электромобиле Rolls Royce Phantom 102EX;
- система 20 кВт на гоночном автомобиле Lola-Drayson B12/69 EV, развивающем скорость более чем 320 км/ч.

В компании Qualcomm Halo также разрабатывают 3-киловаттные зарядные устройства для четырёхдверного

седана гольф-класса Renault Fluence. Площадь устройства на автомобиле составляет всего 25 см² а глубина – 2,2 см. Площадь же контактной платформы стационарного устройства равна 75 см² при глубине 3,3 см. В компании посчитали, что чем проще будет водителям парковаться для беспроводной зарядки машины, тем эта технология будет популярнее. Следовательно, процесс постановки авто на зарядку должен быть простым и лёгким, подразумевающим большую погрешность расположения транспортного средства относительно станции. Зарядное устройство от Qualcomm Halo Wireless Electric Vehicle Charging (WEVC), которое работает на частоте 85 кГц, не требует от водителей каких-то особых навыков управления авто. Чтобы задействовать беспроводные технологии им достаточно просто остановиться возле зарядной станции.

Эффективная и мощная индуктивная зарядка меняет само понятие зарядки электромобилей. Базовая зарядная платформа, которая может быть установлена в гараже, на автостоянке, около офиса или даже встраиваться под дорожное покрытие, будет автоматически подсоединяться к зарядному модулю электромобиля и заряжать его аккумулятор без каких бы то ни было дополнительных действий. Специалисты компании Qualcomm Halo утверждают, что эффективность передачи зарядного сигнала WEVC сопоставима по мощности с подключаемой проводной системой питания даже при неточном совмещении зарядных платформ. Благодаря специальным динамическим зарядным полосам WEVC беспроводная зарядка возможна даже в процессе движения. Эти полосы, при условии их установки вдоль дорог, позволят машинам на электротяге двигаться без вынужденных остановок на специальных электрозаправках для полного или частичного заряда аккумуляторов. Это должно сделать электромобили мобильнее и в корне изменить отношение людей к ним. Используя WEVC, водители будут заряжать их аккумуляторы как батареи смартфонов – понемногу и часто, – используя динамическую зарядку, чтобы дополнить зарядку основную, полученную на стационарной заправочной станции.

Резонансная магнитная индукция может работать в очень низкочастотных или низкочастотных диапазонах – как правило, ниже 300 кГц. Однако этот диапазон также используется в других целях.

Например, в системах бесключевого доступа в салон и при контроле интеллектуальных сетей. Поэтому правильный выбор частоты для беспроводной зарядки очень важен, так как она должна сосуществовать с другими системами, установленными на автомобиле, а также в пределах внешней электромагнитной зоны. Другими словами, необходима договорённость о единой частоте для беспроводного зарядного оборудования.

Во многих беспроводных зарядных системах для получения эффективно заряда очень важно выравнивание частот. По утверждению разработчиков, система Qualcomm Halo WEVC позволяет высокоэффективную передачу энергии даже при существенном смещении принимающей и передающих платформ как в продольном и поперечном направлениях, так и в вертикальном, что актуально для кроссовров с большим дорожным просветом.

Бесконтактная зарядка может, в конечном счёте, стать доминирующим решением для питания электромобилей и получить глобальное распространение, но это не произойдёт уже завтра: для отработки технологии и создания инфраструктуры необходимо немало времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня большинство подключаемых зарядных станций не имеют коммерческой основы. Они финансируются правительствами и энергетическими компаниями, входя в разряд «зелёных» инноваций. Тем не менее, новые технологии привлекают реальные деньги, что обещает как рост рынка самих электромобилей, так и рост смежного рынка электрозарядных станций. Разногласия по техническим стандартам зарядки электромобилей на данном этапе наоборот стимулируют развитие рынка, привлекая новые ресурсы и технологии, и, согласно прогнозам компании Navigant Research, к 2020 году в мире будет установлено более 3,6 млн зарядных станций контактного и бесконтактного способа зарядки электромобилей. Большинство из них, вероятно, будут гибридного типа, пока ограничения, связанные с эксплуатацией полностью электрического двигателя, не будут устранены.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.electronics-eetimes.com.
2. www.abb.com/evcharging.
3. www.qualcommhalo.com.
4. www.ipt-technology.com.



SPANPIXEL

Широкоформатные дисплеи

15"~49"



SPANPIXEL™ — новаторские, сверхширокие, с высокой яркостью, нестандартные ЖК-дисплеи со светодиодной подсветкой

- ✓ Поддержка ландшафтного и портретного режимов
- ✓ Наилучший выбор для специфических промышленных применений
- ✓ Наиболее привлекательный для глаз ЖК-дисплей

Основные свойства

- Ультразширокий экран
- Безвентиляторная конструкция
- Светодиодная подсветка обеспечивает считывание изображения при солнечной засветке
- Яркость 1000 кд/м²
- Устойчивость к ударам и воздействию вибрации
- Высокий контраст
- Широкий угол обзора
- Длительный срок службы, низкая потребляемая мощность

Применения



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ LITEMAX ELECTRONICS

ProSoft®

МОСКВА
С.-ПЕТЕРБУРГ
АЛМА-АТА
ВОЛГОГРАД
ЕКАТЕРИНБУРГ
КАЗАНЬ
КИЕВ
КРАСНОДАР
Н. НОВГОРОД
НОВОСИБИРСК
ОМСК
САМАРА
УФА
ЧЕЛЯБИНСК

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (727) 329-5121; 320-1959 • sales@kz.prosoft.ru • www.prosoft-kz.com
Тел.: (8442) 260-048 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru
Тел.: (843) 291-7555 • Факс: (843) 570-4315 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: +38 (044) 206-2343; 206-2478 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft-ua.com
Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (831) 215-4084 • Факс: (831) 215-4084 • n.novgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru
Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Какое автоматизированное решение лучше?

Ви Шенг Йонг, Keysight Technologies

Что лучше для автоматизированного внутрисхемного тестирования – роботизированный манипулятор или встроенная в линию система? Что эффективнее оптимизирует затраты и повышает конкурентоспособность?

В последние десять лет наблюдается постоянный рост стоимости труда операторов. Это усложняет жизнь менеджерам, отвечающим за сборку печатных плат, и заставляет искать пути сокращения затрат и эффективного повышения конкурентоспособности за счёт применения экономичных методов производства.

Одна из новых стратегий, широко применяемых производителями, заключается в замене ручной загрузки печатной платы различными автоматизированными решениями. Заказчики часто задают мне вопросы о достоинствах и недостатках применения автоматизации для замены дорогостоящего ручного труда, не говоря уже о проблемах привлечения и удержания работников, которые стремятся уйти на другую работу с более мягкими условиями труда, например, в сферу обслуживания. Ну а затем задаётся традиционный вопрос: «Какое автоматизированное решение лучше?».

Сегодня широкое распространение получили два автоматизированных решения. Первое заключается в интеграции роботизированного манипулятора в имеющиеся тестеры, а другое – в установке на линию поверхностного монтажа (SMT) полностью автоматического внутрисхемного тестера.

Не так давно я посетил линию по сборке печатных плат в Таиланде, на которой вместо ручной загрузки печатной платы во внутрисхемный тестер использовался автоматический роботизированный манипулятор.



Рис. 1. Типовая конструкция роботизированного манипулятора для промышленного внутрисхемного тестирования

Этот манипулятор стоял между двумя тестерами. Дополняли эту автоматизированную систему подъёмник и конвейер, которые транспортировали лотки с платами, поступающими на тестирование, платами, прошедшими тестирование, и отбракованными платами.

Работает эта система следующим образом: роботизированный манипулятор берёт из лотка нетестированную плату и загружает её в тестовую оснастку. После загрузки платы установленная на тестовой оснастке пневматическая крышка автоматически закрывается и выполняется сканирование штрихового кода. Если плата ложится на установочные штифты тестовой оснастки с перекосом, то при закрытии пневматической крышки она повреждается. Во время моего визита я наблюдал три таких случая в течение 15 мин. Типовая конструкция роботизированного манипулятора показана на рисунке 1.

Чтобы снизить риск повреждения платы в результате неточного позиционирования, производитель задействовал оператора, который вручную корректировал положение платы перед закрытием крышки. Невольно я отметил потенциальный риск защемления руки оператора, в случае если он не успеет убрать её до закрытия автоматической пневматической крышки.

По завершении тестирования роботизированный манипулятор извлекает плату из тестера и, в зависимости от результатов тестирования, помещает её в лоток для исправных плат либо в лоток для бракованных плат. На этом этапе я заметил, что время от времени плата ложится в лоток криво, и оператор буквально бросается к нему, чтобы вручную исправить положение. Такое использование штатного оператора для контроля работы автоматизированной системы выглядит нелогично, поскольку устанавливалась она, в первую очередь, для сокращения числа операторов.

Описываемая автоматизированная установка занимает площадь примерно в 1,5 м², не считая конвейера, которому также необходимо немало места. В итоге это решение требует достаточно большой площади.

Во время визита мне посчастливилось наблюдать работу техника, обслуживающего вышедшую из строя систему внутрисхемного тестирования. Сначала он отсоединил шланг пневмосети и снял пневматическую крышку тестовой оснастки, и лишь потом снял саму тестовую оснастку. Когда я спросил, почему он так сделал, он ответил, что тестовая оснастка слишком тяжёлая, чтобы поднять её с установленной пневматической крышкой. То есть, снимая крышку, он облегчает тестовую оснастку. Эта система оборудована одним роботизированным манипулятором, обслуживающим два тестера. В результате, дабы сократить простои, при остановке одного тестера робот продолжает обслуживать второй тестер. К сожалению, это заметно ограничивает доступ техника к тестовой оснастке, поскольку роботизированный манипулятор продолжает двигаться в непосредственной близости от зоны ремонта.

Для работы с платами разной формы и размера роботизированному манипулятору в этой системе необходим специальный вакуумный захват. Один из инженеров пояснил мне, что для срабатывания вакуумный захват должен сначала плотно прижаться к плате, чтобы обеспечить плотный контакт присоски. Однако это порождает проблемы с очень тонкими платами толщиной 0,6 мм и меньше – такие платы изгибаются под давлением присоски, и известны случаи растрескивания паяных соединений микросхем с шариковыми выводами (BGA).

В итоге сопровождающий меня инженер признался, что до сих пор скорость работы автоматизированной системы не смогла достичь скорости ручной загрузки, которую она призвана была заменить.

Не вдаваясь в детальный анализ затрат, даже с учётом того, что роботизированный манипулятор может быть не самым дешёвым и не самым эффективным решением, он опреде-

лётно сглаживает проблемы удержания на данном рабочем месте операторов в условиях высокой текучести кадров.

Во время другого недавнего посещения производственной линии – на этот раз у производителя печатных плат в Северной Америке – я обратил внимание на встроенный в линию автоматизированный манипулятор системы внутрисхемного тестирования. По словам руководителя отдела испытаний, самой большой проблемой в производстве являются повреждения, связанные с ручными операциями, например, в результате воздействия на печатные платы электростатического разряда. Также немалый вред наносит высокая текучесть кадров среди операторов. Он считает, что решить эти проблемы сможет встроенное в линию решение для автоматического внутрисхемного тестирования.

Любопытно было наблюдать, как работает эта линия. Тестируемые печатные платы (листы с несколькими платами или отдельные платы) транспортируются конвейером или магазином загрузки, который передаёт платы манипулятору внутрисхемного тестера. Затем считыватель штрих-кода идентифицирует плату, после чего она устанавливается в тестовую оснастку и начинается процесс тестирования.

По завершении теста исправные платы передаются на следующую станцию, а платы, не прошедшие испытания, автоматически отбраковываются и направляются в лоток или магазин для дефектных плат.

На этой линии я не заметил ни одного оператора, занятого исключительно мониторингом операций. В случае неправильной установки платы манипулятор автоматически прекращал работу. Затем включался световой и звуковой сигнал тревоги, после чего оператор безопасно и быстро устранял проблему.

Используемый на этом заводе встроенный в линию манипулятор внутрисхемного тестера был меньше имеющихся внутрисхемных тестеров, работающих за пределами производственной линии. По свидетельству одного из местных инженеров, их новая система внутрисхемного контроля имеет длину всего 9 м и высоту примерно 1,7 м. Компания установила манипулятор внутрисхемного тестера в одну линию с конвейером и оборудованием для поверхностного монтажа

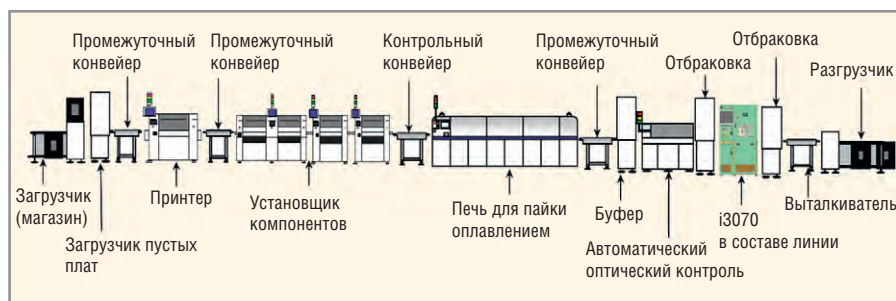


Рис. 2. Система внутрисхемного контроля, полностью интегрированная в производственную линию поверхностного монтажа

(см. рис. 2), сэкономя ценные производственные площади.

Тестовая оснастка в этом решении содержит верхний и нижний держатели. Она выглядит более лёгкой и проще снимается, поскольку допускает конструктивное разделение. Кроме того, это сокращает время перенастройки при переходе на выпуск другого изделия. По словам наладчика, диагностика неисправностей выполняется достаточно быстро и просто, поскольку он не ограничен пространством, и тестовая оснастка легко снимается.

Впрочем, я заметил, что в случае поломки встроенного в линию мани-

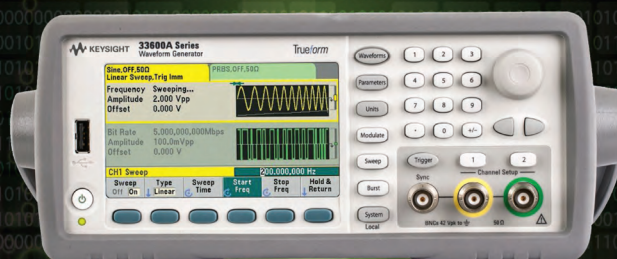
пулятора, все тестируемые платы должны либо передаваться на следующую станцию, либо будут скапливаться впереди, чтобы не останавливать производство.

Этот встроенный в линию манипулятор системы внутрисхемного контроля использовал в качестве тестовой оснастки традиционную матрицу игольчатых контактов и не нуждался в вакуумном захвате. Кто-то может заметить, что большая часть стоимости установки войдёт в начальные затраты на производственное оборудование. Однако в долгосрочной перспективе основные периодические затраты на

Генераторы сигналов Keysight серии 33600A с эксклюзивной технологией Trueform

With Trueform TECHNOLOGY

Генераторы сигналов серии 33600A с эксклюзивной технологией Trueform обеспечивают больше возможностей, более высокую точность измерений и гибкость. Используйте новую серию генераторов Keysight, чтобы ускорить процесс разработки от начала до конца.



Уникальные возможности генераторов сигналов серии 33600A:

- Частота дискретизации 1 Гвыб/с и полоса пропускания до 80 или 120 МГц, 1 или 2 канала
- Формирование произвольных сигнальных последовательностей с возможностью сохранения до 64 Мвыб
- Воспроизведение модулирующих IQ-сигналов
- 1 пс джиттер. В 200 раз лучше, чем в генераторах DDS
- Гармонические искажения в 5 раз меньше, чем в генераторах DDS
- Совместимость с программным обеспечением BenchVue

Реклама

Узнайте больше



«ЭрисКом» - официальный дистрибьютор
Keysight Technologies в России.
Тел./Факс: (499) 218-2353 (мн.)
E-mail: info@eriscom.ru
Http://www.eriscom.ru



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

Авторизованный дистрибьютор

Сводка ключевых отличий роботизированного манипулятора и встроенной в линию системы внутрисхемного тестирования

Роботизированный манипулятор	Встроенная в линию система
Сканер штрихового кода расположен в тестовой оснастке.	Сканер штрихового кода расположен в системе.
Для коррекции положения платы при отказе роботизированного манипулятора необходим штатный оператор.	Контроль со стороны оператора не требуется. Персонал привлекается только для устранения аварий.
В процессе коррекции положения платы оператор может получить травмы, поскольку крышка тестовой оснастки закрывается автоматически и остановить её нельзя.	Обслуживание и перенастройка системы выполняется безопасным способом.
Сложный переход на выпуск другого изделия.	Простой переход на выпуск другого изделия.
Использует параллельное тестирование (повышение производительности), перекидная полная тестовая оснастка.	Использует параллельное тестирование (повышение производительности), половинная тестовая оснастка.
Использует крышку с пневмоприводом, которая закрывается автоматически, и вакуумный захват для обеспечения контакта с платой.	Использует нажим для фиксации и обеспечения контакта с платой.
Тяжёлая тестовая оснастка из-за пневматической верхней крышки. Большое время настройки и большие простои из-за сложности снятия тестовой оснастки.	Для обслуживания системы тестовую оснастку можно не снимать. Снижение времени настройки и уменьшение простоев в процессе обслуживания.
Требуется много места для размещения системы внутрисхемного тестирования и роботизированного манипулятора.	Требуется много места только для всей автоматизированной линии.
Для захвата разных плат необходим специальный вакуумный захват.	Вакуумный захват не нужен.

тестирование ограничиваются расходами на тестовую оснастку.

Сводка общих черт и отличий системы внутрисхемного контроля с роботизированным манипулятором и полностью автоматической встроенной в линию системы контроля приведена в таблице. Заказчики могут учесть эту информацию наряду с требованиями бюджета и решить, на каком варианте остановиться, когда дело дойдёт до автоматизации внутрисхемного контроля.

В прошлом противники автоматизации боялись, что она приведёт к росту безработицы. В современном мире, где

работники избалованы большим выбором возможностей, однообразная работа мало кого привлекает. Поэтому люди предпочитают ей работу в других сферах, таких как сфера обслуживания, где предлагаются значительно более комфортные условия труда.

Следовательно, ответственность за повышение эффективности ложится на производителей. В электронной промышленности автоматическая сборка печатных плат привела к росту качества, снижению цены и невероятному подъёму производительности. В конечном итоге выигрывают от этого потребители, которые

получают доступ к лучшим продуктам по меньшим ценам – вспомните хотя бы, как выглядели ноутбуки десять лет назад, и сравните их с современными функционально насыщенными планшетами.

Так же как потребители получили богатейший выбор высококачественных изделий, производители электроники получают возможность выбора между полностью интегрированными в линию системами внутрисхемного контроля и установленными за пределами линии внутрисхемными тестерами с роботизированным манипулятором.



Новости мира News of the World Новости мира

Уникальная возможность расширения частотного диапазона анализаторов сигналов серии X

Компания Keysight Technologies объявила о возможности расширения частотного диапазона анализаторов сигналов PXA, MXA и EXA серии X.

В настоящее время ни один из производителей контрольно-измерительной аппаратуры не предлагает подобной возможности обновления частотного диапазона анализатора сигналов после его покупки.

Благодаря такому предложению пользователи могут расширить частотный диапазон имеющегося прибора до максимальной частоты, доступной для этой модели.

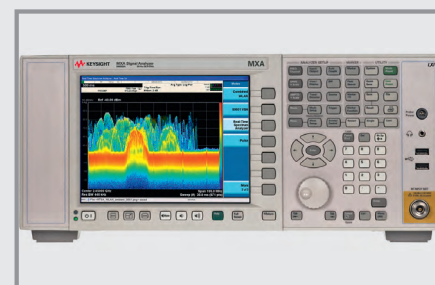
В стоимость обновления входит стоимость установки и калибровки, а также годовая гарантия на прибор. Анализатор сигналов сохраняет все имеющиеся опции, приложения и серийный номер. Такая недорогая

альтернатива покупке нового оборудования будет выгодна организациям, планирующим работать с более высокочастотным оборудованием.

«Возможность улучшения характеристик измерительных приборов с появлением более сложных задач повышает потребительские качества этих приборов, – сказал Сатиш Дханасекаран (Satish Dhanasekaran), менеджер по маркетингу отдела коммуникационного и СВЧ-оборудования компании Keysight. – Возможность расширения частотного диапазона анализаторов сигналов серии X убедительно демонстрирует наше стремление к удовлетворению меняющихся требований наших заказчиков».

Расширение частотного диапазона выполняется в сервисном центре Keysight, что позволяет одновременно установить и другие опции, расширяющие возможности прибора:

- расширение полосы анализа до 40, 85, 125 или 160 МГц;



- измерительные приложения для измерения параметров модуляции и параметрического тестирования;
- функции анализа спектра в режиме реального времени (RTSA) в модели MXA и PXA;
- встроенный предусилитель;
- обновление центрального процессора;
- обновление операционной системы;
- съёмный твердотельный накопитель.

Всемирная сеть сервисных центров Keysight и местные специалисты обеспечивают поддержку более чем в 75 точках мира.

www.keysight.com/find/frequencyup



Pushing Performance

Технологии, питающие мир

Разъёмы для качественного
и надёжного соединения

IP65/67
-20... +125°C
-40... +85°C

Han-Eco® Outdoor •

Соединитель для использования в уличных условиях
Корпус выполнен из прочного и лёгкого термопластика UL 94
Диапазон рабочих температур -40...+125°C
Экономически эффективное решение
Удобный и быстрый механизм защёлкивания «click and mate»
IP65 в сочленённом состоянии

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ HARTING В РОССИИ

ProCHIP
POWERED BY ProSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: последовательный интерфейс I²C

Олег Вальпа (г. Миасс, Челябинская обл.)

В статье приведено описание последовательного интерфейса I²C 32-разрядных ARM-микроконтроллеров серии STM32 от компании STMicroelectronics. Рассмотрены архитектура, состав и назначение регистров конфигурирования интерфейса, а также приведены примеры программ его использования.

ВВЕДЕНИЕ

Интерфейс I²C, или IIC получил свою аббревиатуру от английских слов Inter-Integrated Circuit и представляет собой последовательную шину, состоящую из двух двунаправленных линий связи с названием SDA и SCL, как сокращение от слов Serial Data Address и Serial Clock. Он обеспечивает обмен данными между микроконтроллером и различными периферийными устройствами, такими как АЦП, ЦАП, микросхемы памяти, другие микроконтроллеры и микросхемы. Схема подключения устройств по интерфейсу I²C показана на рисунке 1.

Стандарт на интерфейс I²C был разработан фирмой Philips в начале 1980-х годов. Согласно этому стандарту, интерфейс имел 7-разрядный адрес.

Он позволял обращаться к 127 устройствам на скорости до 100 кбит/с. В дальнейшем интерфейс получил своё развитие и стал 10-разрядным, позволяющим обращаться к 1023 устройствам на скорости до 400 кбит/с. Максимальное допустимое количество микросхем, подсоединённых к одной шине, ограничивается максимальной ёмкостью шины в 400 пФ. Версия стандарта 2.0, выпущенная в 1998 году, представила высокоскоростной режим работы со скоростью до 3,4 Мбит/с с пониженным энергопотреблением. Версия 2.1 2001 года включает в себя лишь незначительные доработки.

ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА I²C

Микроконтроллер STM32 [1] включает в свой состав интерфейс I²C, кото-

рый отличается своей развитостью. Он допускает несколько ведущих устройств на шине и поддерживает высокоскоростной режим. Кроме того, в микроконтроллере STM32 интерфейс I²C можно использовать для широкого спектра приложений, включая генерацию и верификацию контрольной суммы. С ним также можно работать по протоколам SMBus (System Management Bus) и PMBus (Power Management Bus). Большинство моделей STM32 включают в свой состав два интерфейса I²C с именами I2C1 и I2C2.

Интерфейс может работать в одном из следующих четырёх режимов:

- Slave Transmitter (ведомый передатчик);
- Slave Receiver (ведомый приёмник);
- Master Transmitter (ведущий передатчик);
- Master Receiver (ведущий приёмник).

По умолчанию интерфейс работает в режиме «Ведомый» и автоматически переключается на «Ведущий» после генерирования стартового условия. Переключение с «Ведущего» на «Ведомый» происходит при потере арбитража или после генерирования стоп-условия, что позволяет работать нескольким «Ведущим» микроконтроллерам в одной системе поочередно.

В режиме «Ведущий» I²C инициирует обмен данными и генерирует тактовый сигнал. Передаче последовательных данных всегда предшествует стартовое условие, а завершается обмен всегда стоп-условием. Оба этих условия генерируются в режиме «Ведущий» программно.

В режиме «Ведомый» I²C способен распознать свой собственный адрес (7 или 10 бит) и адрес общего вызова. Определение наличия адреса общего вызова можно включить или отключить программно.

Адрес и данные передаются 8-битными послылками, старшим битом вперёд. Первый байт, следующий за стартовым условием, содержит адрес (один байт в 7-битном режиме и два байта в 10-битном режиме). Адрес всегда передаётся в режиме «Ведущий».

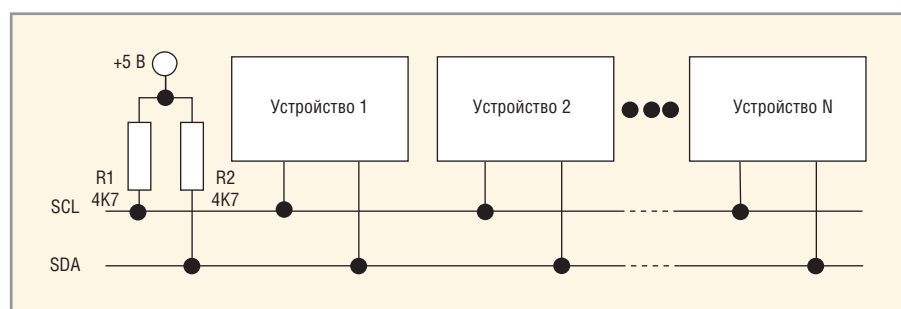


Рис. 1. Схема подключения устройств по интерфейсу I²C

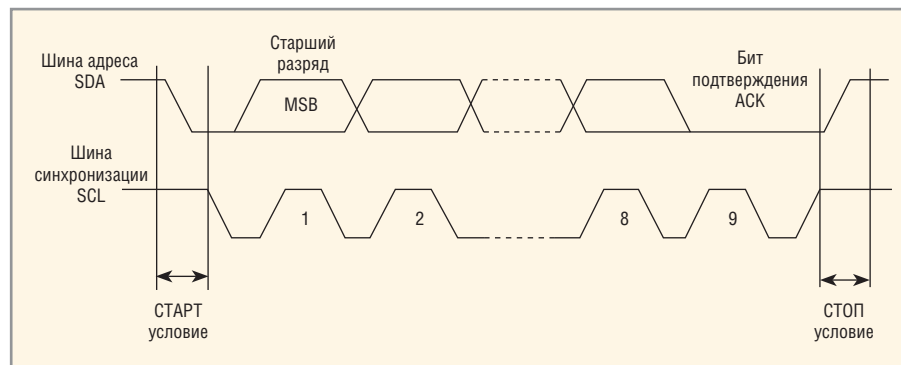


Рис. 2. Временная диаграмма одной послылки интерфейса I²C

За 8 тактами передачи байта данных следует 9-й такт, в течение которого приёмник должен послать бит уведомления ACK, получивший своё название от слова ACKnowledge. На рисунке 2 приведена временная диаграмма одной посылки интерфейса I²C.

Наличие уведомления в ответе можно программно включить или отключить. Размерность адреса интерфейса I²C (7 бит или 10 бит и адрес общего вызова) можно выбрать программно.

АРХИТЕКТУРА БЛОКА ИНТЕРФЕЙСА I²C

Функциональная схема блока интерфейса I²C для микроконтроллера STM32 приведена на рисунке 3.

Регистр сдвига на этой схеме представляет собой основной регистр, через который передаются и принимаются данные. Передаваемые данные предварительно записываются в регистр данных, после чего через регистр сдвига последовательно транслируются в линию связи SDA. Принимаемые по этой же линии связи данные накапливаются в регистре сдвига, а затем перемещаются в регистр данных. Таким образом, интерфейс может передавать и принимать данные только поочередно.

Кроме того, регистр сдвига аппаратно подключён к компаратору, который позволяет сравнивать принятый адрес с адресными регистрами и, таким образом, определять, для кого предназначен очередной блок данных.

Узел управления частотой позволяет формировать сигнал синхронизации SCL в роли ведущего и синхронизироваться от этого сигнала в качестве ведомого устройства. Регистр CCR обеспечивает программную настройку данного узла. Блок интерфейса подключён к выходу PCLK1 шины APB1 через два предварительных делителя. Микроконтроллер поддерживает два режима обмена: стандартный (Standard Speed) – до 100 кГц, и быстрый (Fast Speed) – до 400 кГц. В зависимости от режима обмена частота тактирования модуля должна быть не менее 2 МГц в стандартном режиме и не менее 4 МГц в быстром режиме.

Блок вычисления позволяет аппаратно вычислять контрольную сумму блока данных и сохранять её в регистре PEC.

Управление блоком интерфейса I²C, а также формирование флагов собы-

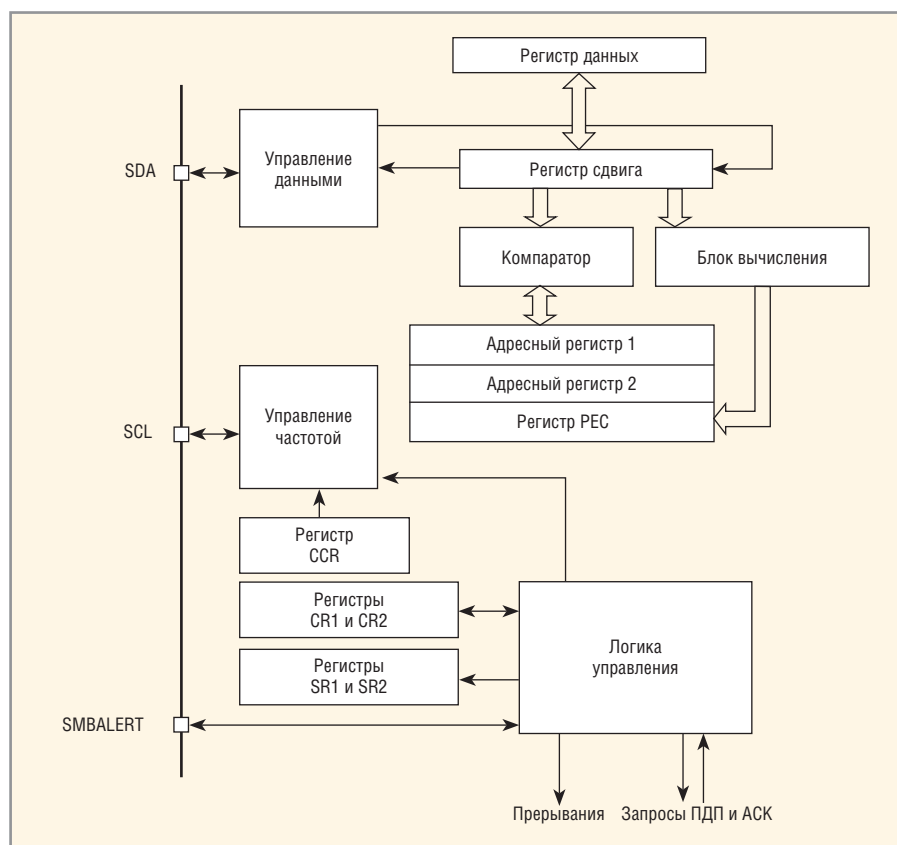


Рис. 3. Функциональная схема блока интерфейса I²C

тий и прерываний выполняется узлом логики управления. Он же позволяет обслуживать запросы ПДП и формировать сигнал ACK. Связь этого блока с микроконтроллером осуществляется программно с помощью регистров управления CR1, CR2 и регистров состояния SR1, SR2.

ПРЕРЫВАНИЯ ОТ I²C

Интерфейс I²C имеет аппаратную организацию, способную формировать запросы на прерывание в зависимости от режима работы и текущих событий.

В таблице 1 приведены запросы на прерывание от интерфейса I²C.

ОПИСАНИЕ РЕГИСТРОВ

Для работы с интерфейсом I²C в микроконтроллере STM32 имеются специальные регистры. Карта этих регистров с названием входящих в них разрядов представлена в таблице 2.

Рассмотрим регистры, необходимые для работы интерфейса I²C. К ним относятся:

- I²C_CR1 – управляющий регистр 1;
- I²C_CR2 – управляющий регистр 2;

Таблица 1. Запросы на прерывание от интерфейса I²C

Событие	Флаг события	Разрешающий бит управления
Послано старт-условие	SB	ITEVFN
Ведущий послал адрес или ведомый получил свой адрес	ADDR	
Ведущий послал заголовок 10 бит	ADD10	
Ведомый получил стоп-условие	STOPF	
Передача байта закончена	BTF	
Буфер приёма не пуст	RxNE	ITEVFN и ITBUFEN
Буфер передачи пуст	TxE	
Ошибка шины	BERR	ITERREN
Потеря прав на шину ведущего	ARLO	
Ошибка уведомления	AF	
Переполнение/недостача данных	OVR	
Ошибка пакета	PECERR	
Ошибка превышения времени	TIMEOUT	

- I²C_OAR1 – регистр собственного адреса 1;
- I²C_OAR2 – регистр собственного адреса 2;
- I²C_DR – регистр данных;
- I²C_SR1 – статусный регистр 1;
- I²C_SR2 – статусный регистр 2;
- I²C_CCR – регистр управления тактовым сигналом;
- I²C_TRISE – регистр параметра TRISE.

Некоторые разряды этих регистров используются для работы в режиме SMBus.

Регистр I²C_CR1 является первым управляющим регистром интерфейса I²C. Он имеет следующие управляющие разряды:

- разряд 15 SWRST – обеспечивает программный сброс шины I²C;
- разряд 14 – зарезервирован;

- разряд 13 SMBus – формирует сигнал тревоги в режиме SMBus;
- разряд 12 PEC – служит для функции проверки ошибки пакета (Packet Error Checking);
- разряд 11 POS – служит для анализа сигналов ACK или PEC при приёме;
- разряд 10 ACK – возвращает бит уведомления ACK после приёма корректного байта адреса или данных;
- разряд 9 STOP – служит для формирования и анализа стоп-условия;
- разряд 8 START – служит для формирования и анализа старт-условия;
- разряд 7 NOSCTETCH – отключает растяжку такта в режиме ведомого;
- разряд 6 ENGС – разрешает общий вызов;

- разряд 5 ENPEC – разрешает сигнал PEC;
- разряд 4 ENARP – разрешает сигнал ARP;
- разряд 3 SMBTYPE – назначает тип интерфейса в качестве ведущего или ведомого для режима SMBus;
- разряд 2 – зарезервирован;
- разряд 1 SMBUS – переключает режимы I²C и SMBus;
- разряд 0 PE – разрешает работу интерфейса.

Регистр I²C_CR2 является вторым управляющим регистром интерфейса I²C и имеет следующие управляющие разряды:

- разряды 15...13 – зарезервированы;
- разряд 12 LAST – используется в режиме ведущего приёмника, чтобы позволить генерацию сигнала

Таблица 2. Карта регистров интерфейса I²C

Сдвиг	Регистр	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
0x00	I ² C_CR1	Резерв																	SWRST	Резерв	ALERT	PEC	POS	ACK	STOP	START	NOSTRETCH	ENGС	ENPEC	ENARP	SMBTYPE	Резерв	SMBUS	PE		
	Исх. значение																		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x04	I ² C_CR2	Резерв																			LAST	DMAEN	ITBUFEN	ITEVTEN	ITERREN	Резерв	FREQ[5:0]									
	Исх. значение																				0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x08	I ² C_OAR1	Резерв																	ADDMODE	Резерв						ADD[9:8]		ADD[7:1]						ADD0		
	Исх. значение																		0						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0x0C	I ² C_OAR2	Резерв																									ADD2[7:1]						ENDUAL			
	Исх. значение																								0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0x10	I ² C_DR	Резерв																									DR[7:0]									
	Исх. значение																								0	0	0	0	0	0	0	0				
0x14	I ² C_SR1	Резерв																	SMBALERT	TIMEOUT	Резерв	PECERR	OVR	AF	ARLO	BERR	TxE	RxMT	Резерв	STOPF	ADD10	BTF	ADDR	SB		
	Исх. значение																		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0x18	I ² C_SR2	Резерв																	PEC[7:0]						DUALF	SMBHOST	SMBDEFAULT	GENCALL	Резерв	TRA	BUSY	MSL				
	Исх. значение																		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0x1C	I ² C_CCR	Резерв																			Резерв	CCR[11:0]														
	Исх. значение																		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x20	I ² C_TRISE	Резерв																									TRISE[5:0]									
	Исх. значение																										0	0	0	0	1	0	0			

ла NACK по последнему принятому байту;

- разряд 11 DMAEN – разрешает запрос DMA;
- разряд 10 ITBUFEN – разрешает прерывания от буфера;
- разряд 9 ITEVTEN – разрешает прерывания от события;
- разряд 8 ITERREN – разрешает прерывания от ошибки;
- разряды 7 и 6 – зарезервированы;
- разряды 5...0 FREQ[5:0] – задают частоту работы шины.

Регистр I²C_OAR1 – первый регистр собственного адреса, включает в себя следующие разряды:

- разряд 15 ADDMODE – задаёт 7- или 10-разрядный режим адресации в качестве ведомого;
- разряды 14...10 – зарезервированы;
- разряды 9 и 8 ADD[9:8] – назначают 9 и 8 биты адреса при 10-битной адресации интерфейса;
- разряды 7...1 ADD[7:1] – назначают 7...1 биты адреса;
- разряд 0 ADD0 – назначает бит 0 адреса при 10-битной адресации интерфейса.

Регистр I²C_OAR2 – второй регистр собственного адреса, включает в себя следующие разряды:

- разряды 15...8 – зарезервированы;
- разряды 7...1 ADD[7:1] – назначают 7...1 биты адреса в режиме двойной адресации;
- разряд 0 ENDUAL – разрешает режим двойной адресации.

Регистр данных I²C_DR имеет 8 разрядов DR[7:0] для приёма и передачи данных на шину I²C. В этот регистр данные записываются для передачи и читаются из него при приёме. Разряды 15...9 – зарезервированы.

Регистр I²C_SR1 – первый статусный регистр, и включает в себя следующие разряды:

- разряд 15 SMBALERT – сигнализирует о тревоге шины SMBus;
- разряд 13 – зарезервирован;
- разряд 14 TIMEOUT – оповещает об ошибке превышения времени для сигнала SCL;
- разряд 12 PECERR – свидетельствует об ошибке PEC при приёме;
- разряд 11 OVR – формируется при ошибке переполнения данных;

- разряд 10 AF – возникает в случае ошибки уведомления;
- разряд 9 ARLO – указывает на ошибку потери прав на шину;
- разряд 8 BERR – устанавливается при ошибке шины;
- разряд 7 TxE – оповещает, что регистр данных пуст;
- разряд 5 – зарезервирован;
- разряд 6 RxNE – информирует, что регистр данных не пуст;
- разряд 4 STOPF – детектирует стоп-условие в режиме ведомого;
- разряд 3 ADD10 – устанавливается, когда ведущий послал первый байт адреса при 10-битной адресации;
- разряд 2 BTF – оповещает о завершении передачи байта;
- разряд 1 ADDR – устанавливается, если послан адрес в режиме ведущего или принят адрес в режиме ведомого;
- разряд 0 SB – устанавливается при генерации старт-условия в режиме ведущего.

Регистр I²C_SR2 – второй статусный регистр, включает в себя следующие разряды:

- разряды 15...8 PEC[9:8] – содержат контрольную сумму кадра;





Программируемые аналоговые микросхемы:

весь спектр электроники на одном кристалле!



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ ANADIGM

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Листинг 1

```

GPIO_InitTypeDef gpio; // Создание структуры для портов ввода-вывода
I2C_InitTypeDef i2c; // Создание структуры для интерфейса I2C
void init_I2C1(void)
{
    // Включить тактирование
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_I2C1, ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOB, ENABLE);
    // Инициализировать I2C
    i2c.I2C_ClockSpeed = 100000;
    i2c.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;
    i2c.I2C_DutyCycle = I2C_DutyCycle_2;
    // Задать адрес=0x12
    i2c.I2C_OwnAddress1 = 0x12;
    i2c.I2C_Ack = I2C_Ack_Disable;
    i2c.I2C_AcknowledgedAddress = I2C_AcknowledgedAddress_7bit;
    I2C_Init(I2C1, &i2c);
    // Назначить выводы интерфейса
    gpio.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6 | GPIO_Pin_7;

```

Листинг 2

```

void I2C_StartTransmission(I2C_TypeDef* I2Cx, uint8_t
transmissionDirection, uint8_t slaveAddress)
{
    // Ждать освобождения шины
    while(I2C_GetFlagStatus(I2Cx, I2C_FLAG_BUSY));
    // Сформировать старт-условие
    I2C_GenerateSTART(I2Cx, ENABLE);
    // Ждать установки бита
    while(!I2C_CheckEvent(I2Cx, I2C_EVENT_MASTER_MODE_SELECT));
    // Отправить адрес ведомому устройству
    I2C_Send7bitAddress(I2Cx, slaveAddress, transmissionDirection);
    // Если передача данных
    if(transmissionDirection== I2C_Direction_Transmitter)
    {while(!I2C_CheckEvent(I2Cx,
        I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED));}
    // Если прием данных
    if(transmissionDirection== I2C_Direction_Receiver)
    {while(!I2C_CheckEvent(I2Cx,
        I2C_EVENT_MASTER_RECEIVER_MODE_SELECTED));}
}

```

Листинг 3

```

// Функция передачи данных
void I2C_WriteData(I2C_TypeDef* I2Cx, uint8_t data)
{
    // Вызвать библиотечную функцию передачи данных
    I2C_SendData(I2Cx, data);
    // Ждать окончания передачи данных
    while(!I2C_CheckEvent(I2Cx, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_TRANSMITTED));
}
// Функция приема данных
uint8_t I2C_ReadData(I2C_TypeDef* I2Cx)
{
    // Ждать поступления данных
    while( !I2C_CheckEvent(I2Cx, I2C_EVENT_MASTER_BYTE_RECEIVED) );
    data = I2C_ReceiveData(I2Cx); // Читать данные из регистра
    return data; // Возвратить данные в вызывающую функцию
}

```

- разряд 7 DUALF – является флагом двойной адресации в режиме ведомого;
- разряд 6 SMBHOST – устанавливается, когда принят заголовок SMBus Host в режиме ведомого;
- разряд 5 SMBDEFAULT – возникает, если принят адрес по умолчанию для SMBus-устройства в режиме ведомого;
- разряд 4 GENCALL – указывает, что принят адрес общего вызова в режиме ведомого;
- разряд 3 – зарезервирован;
- разряд 2 TRA – оповещает о режиме передачи/приёма;
- разряд 1 BUSY – информирует, что шина занята;
- разряд 0 MSL – детектирует режим «Ведущий»/«Ведомый».

Регистр I²C_CCR – регистр управления тактовым сигналом, который включает в себя разряды:

- разряд 15 F/S – задаёт стандартную или быструю скорость для режима ведущего;
- разряд 14 DUTY – назначает скважность 2 или 16/9 в быстром режиме;
- разряды 13 и 12 – зарезервированы;
- разряды 11...0 CCR[11:0] – управляют тактовым сигналом для быстрой и стандартной скорости в режиме ведущего.

Регистр I²C_TRISE – регистр параметра TRISE, который включает в себя:

- разряды 15...6 – зарезервированы;
- разряды 5...0 TRISE[5:0] – определяют максимальное время фронта для быстрой и стандартной скорости в режиме ведущего. Данный параметр задаёт момент времени, по которому производится выборка состояния линий.

Более подробное описание назначения всех регистров I²C и их разрядов можно найти на сайте www.st.com [2].

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА I²C

Рассмотрим практическую реализацию по использованию интерфейса I²C. Для этого можно воспользоваться стандартной библиотекой периферии микроконтроллера STM32. Для интерфейса I²C настройки режима, скорости и всего остального находятся в заголовочном файле и объявлены в виде структуры:


```

I2C_InitTypeDef:typedef struct{
uint32_t I2C_ClockSpeed;
uint16_t I2C_Mode;
uint16_t I2C_DutyCycle;
uint16_t I2C_OwnAddress1;
uint16_t I2C_Ack;
uint16_t I2C_
AcknowledgedAddress;
}I2C_InitTypeDef;

```

В этой структуре её элементы имеют следующее назначение:

- uint32_t I2C_ClockSpeed – частота тактового сигнала, максимум – 400 КГц;
- uint16_t I2C_Mode – режим работы;
- uint16_t I2C_DutyCycle – настройки для работы в быстром режиме;
- uint16_t I2C_OwnAddress – собственный адрес устройства;
- uint16_t I2C_Ack – включено или нет использование бита подтверждения ACK;
- uint16_t I2C_AcknowledgedAddress – выбор формата адреса: 7 бит или 10 бит.

Рассмотрим процедуры инициализации и работы с интерфейсом I²C.

Для настройки интерфейса I²C в качестве ведущего устройства и передачи данных через него необходимо выполнить следующие действия:

- 1) разрешить тактирование портов;
- 2) инициализировать I²C, задав его скорость, адрес и формат адреса;
- 3) назначить выводы микроконтроллера;
- 4) разрешить работу интерфейса;
- 5) сформировать стартовое условие;
- 6) послать адрес адресуемого устройства и данные;
- 7) сформировать стоповое условие.

Для облегчения процесса программирования желательно создать набор основных функций для работы с I²C.

В листинге 1 приведена функция инициализации интерфейса I²C в соответствии с описанным выше алгоритмом.

Теперь рассмотрим функцию для общения по I²C. Для расширения возможностей эта функция имеет три параметра: номер используемого блока I²C, направление передачи данных и адрес подчинённого устройства.

Код данной функции приведён в листинге 2.

Приведённая функция использует простые функции передачи и приёма данных, приведённые в листинге 3.

Закончив обмен данными по I²C, необходимо вызвать функцию формирования стоп-условия I²C_Generate_STOP(I2Cx, ENABLE).

На основе приведённых функций можно создавать программы для работы с множеством разнообразных периферийных устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неоспоримым преимуществом интерфейса I²C является простота подключения устройств с помощью всего лишь двух линий связи и общего провода, благодаря чему данный интерфейс надёжно закрепился в технике и по-прежнему широко применяется в современной аппаратуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.st.com.
2. www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference_manual/CD00246267.pdf. ©

SHARP

LCD-ПАНЕЛИ SHARP ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ



Размер диагонали, дюйм	10,4	12,1	15...23	2,5...8,5
Разрешение	VGA, SVGA	SVGA, WXGA	XGA, SXGA, USGA	Q-VGA, SVGA, WVGA
Яркость, кд/м²	420...450	400...1200	350...1000	280...500
Контрастность : 1	600...800	800...1000	600...1000	300...800
Входной видеосигнал	Digital RGB, LVDS	Digital RGB, LVDS	LVDS	Digital RGB, LVDS
Задняя подсветка	LED	LED	LED	LED
Предельная рабочая температура, °C	МИН.	-30	-15	-20
	МАКС.	+80	+75	+70

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ SHARP

ProCHIP
POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

Сверхширокополосные направленные ответвители для диапазона СВЧ

Филипп Михеев, Сергей Павлов, Владимир Семибратов, Вадим Щуров (г. Томск)

В статье рассмотрены вопросы классификации и применения современных направленных ответвителей. Приведены основные параметры направленных ответвителей в сравнении с лучшими зарубежными аналогами.

Направленный ответвитель (НО) – это четырёхпортовое (восьми полюсное) пассивное устройство, предназначенное, в первую очередь, для сепарации (разделения) волн, распространяющихся в линии передачи в противоположных направлениях. Ещё одна полезная функция НО – направленный отбор мощности из основного канала во вторичный.

Благодаря своим свойствам, ответвители широко применяются в радиоизмерительной аппаратуре и в других радиотехнических системах для сложения, разветвления и смешивания сигналов, для измерения параметров передачи и отражения, для контроля и стабилизации уровня мощности и частоты сигнала и т.д.

В зависимости от типа линий передачи, образующих основной и вторичный каналы, ответвители могут быть коаксиальными, волноводными, волноводно-коаксиальными.

По характеру ответвления мощности во вторичный канал различают ответвители сонаправленные и противонаправленные (см. рис. 1).

Основным параметром НО является направленность – параметр, характеризующий то, насколько хорошо ответвитель разделяет сигналы, распространя-

ющиеся в прямом и обратном направлениях (определяется как отношение мощностей на связанном и несвязанном портах вторичного канала). В идеальном НО (на примере сонаправленного) падающая на порт 1 волна не отражается от всех портов, а разделяется между портами 2 и 3, в то время как порт 4 изолирован. И наоборот, падающая на порт 2 волна разделяется между портами 1 и 4, в то время как порт 3 изолирован. Из-за нулевой протечки энергии в изолированный порт направленность идеального НО бесконечна. Однако реальные направленные ответвители из-за конечности протечек в изолированные порты и неидеального согласования входов обладают конечной направленностью.

Вторым основным параметром, характеризующим НО, является переходное ослабление (ответвление). Данным параметром определяется величина связи между основным и вторичным каналами, которая находится как отношение мощностей на входе основного и выходе вторичного каналов.

Для полной характеристики реального направленного ответвителя требуется ещё два параметра:

а) *потери в основном канале*, определяются отношением мощностей на входном и выходном портах;

б) *коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) портов*, характеризует степень согласования основного или вторичного каналов и измеряется при условии, что неиспользуемые порты нагружены на согласованные нагрузки.

В зависимости от функционального назначения направленные ответвители можно разделить на измерительные ответвители и ответвители с малой частотной зависимостью переходного ослабления.

Направленные ответвители с малой частотной зависимостью переходного ослабления применяются в схемах для контроля и стабилизации мощности источников сигнала. Основными параметрами этих устройств являются значение переходного ослабления и неравномерность его величины в диапазоне частот.

Измерительные ответвители (ответвители с высокой направленностью) используются для измерения падающих и отражённых волн в схемах рефлектометров. Основными параметрами этих ответвителей, определяющими погрешность измерения коэффициента отражения, являются направленность и КСВН основного канала. При измерении малых значений коэффициента отражения погрешность измерения определяется, в основном, величиной направленности, а при измерении больших значений – величиной КСВН основного канала.

Рассмотрим направленные ответвители первой группы, применяемые, например, в системах АРМ (автоматический регулятор мощности) для контроля уровня мощности. Такой НО, как правило, выполнен на основе смещённых связанных полосковых линий в многослойной диэлектрической структуре с соединителями типа SMA (розетка). Развязанный порт НО нагружается на внешнюю согласованную нагрузку. Направленный ответвитель данного класса, производимый ЗАО «НПФ «Микран», имеет обозначение НО16-2-20-12Р-12Р (см. рис. 2). Его зарубежным аналогом является модель 102020016 производства фирмы Kryptar.

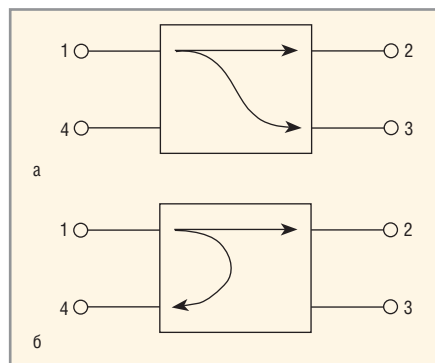


Рис. 1. Направленные ответвители:
а – сонаправленный; б – противонаправленный



Рис. 2. Направленный ответвитель
НО16-2-20-12Р-12Р

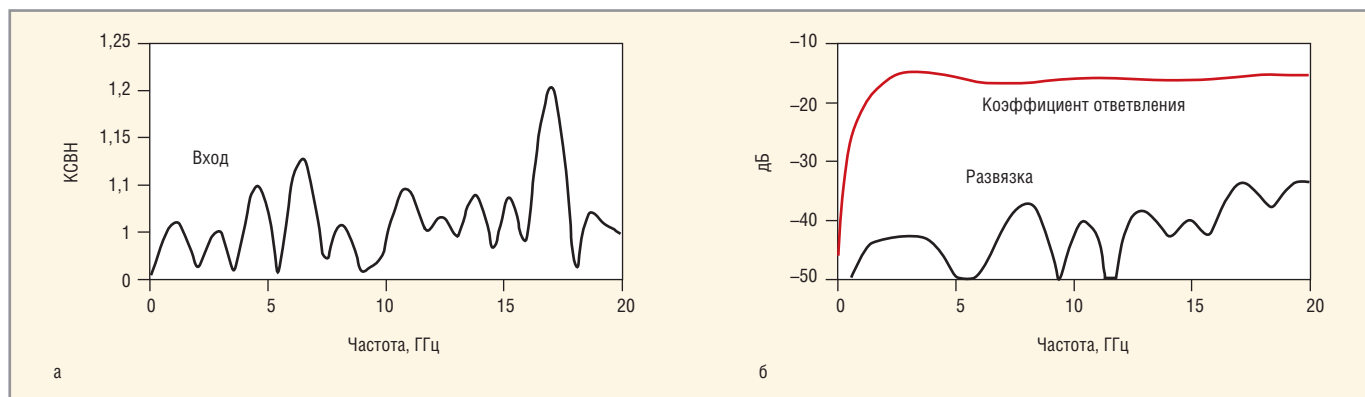


Рис. 3. КСВН входа (а), коэффициент отражения и развязка (б) направленного ответвителя НО16-2-20-12Р-12Р

Компания Keysight Technologies, так же как и Krytar, предлагает направленные ответвители только в микрополосковом исполнении. Ближайшим аналогом НО16-2-20-12Р-12Р является модель 87300В. Характеристики данных НО приведены в таблице, а графики основных параметров – на рисунке 3.

Во вторую функциональную группу направленных ответвителей попадают НО с воздушным диэлектрическим заполнением. Помимо ЗАО «НПФ «Микран», такие НО предлагает китай-

ская корпорация 41st Institute. Компания Keysight Technologies не продаёт собственные НО с воздушным заполнением, хотя широко применяет их в своей линейке измерительной техники. Воздушный направленный ответвитель представляет собой две связанные прямоугольные линии, подвешенные в канале прямоугольного сечения с воздушным заполнением. Развязанный порт НО нагружается на встроенную согласованную нагрузку. Аналогом НО15-0,5-26-13Р является AV70602, а аналогом НО15-0,5-50-05Р

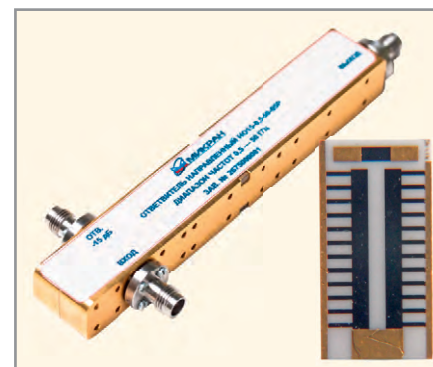


Рис. 4. Направленный ответвитель НО15-0,5-50-05Р и плата согласованной нагрузки

МЕЧТА КАЖДОГО ПРИБОРА!

МИКРАН

Ул. Вершинина, 47, г. Томск, 634045, Россия
Тел.: +7 (3822) 42-18-77, 90-00-34
Факс: +7 (3822) 42-36-15
e-mail: pribor@micran.ru

Реклама

ПОДРОБНОСТИ

www.micran.ru

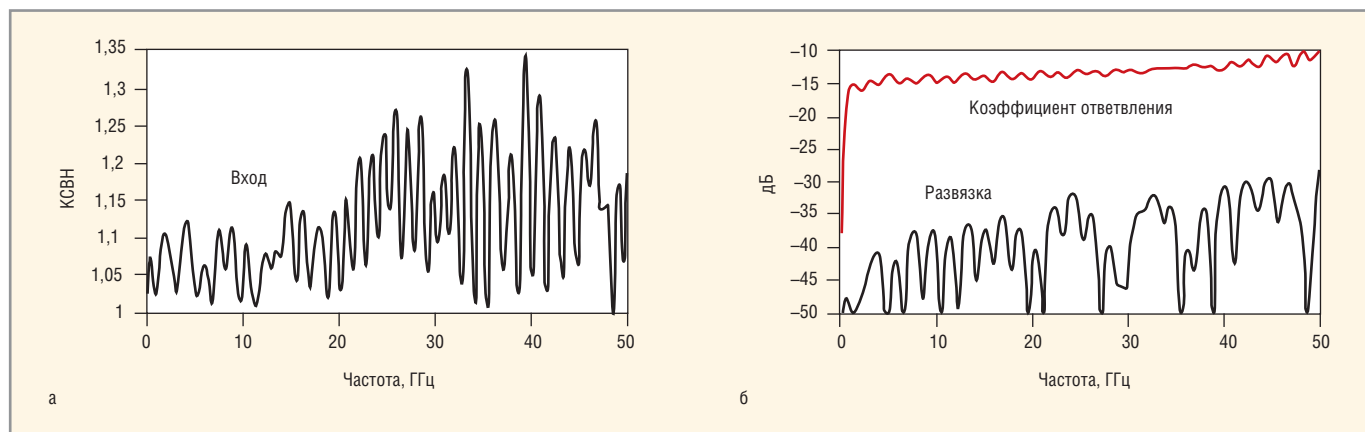


Рис. 5. КСВН входа (а), коэффициент отведения и развязка (б) направленного ответвителя НО15-0,5-50-05Р

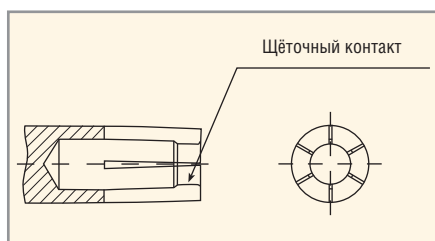


Рис. 6. Щёточный контакт

(см. рис. 4) – AV70601. Характеристики данных НО приведены в таблице, а частотные характеристики направленного ответвителя НО15-0,5-50-05Р – на рисунке 5.

Направленные ответвители НО15-0,5-26-13Р (НО15-0,5-26-03Р) и НО15-0,5-50-05Р имеют схожую между собой конструкцию, так как выполнены с применением связанных прямоугольных линий передачи с воздушным диэлектрическим заполнением. Корпуса покрыты износостойким золотом для улучшения характеристик на СВЧ и имеют крепёжные отверстия для установки устройства в блок прибора.

На корпуса направленных ответвителей при помощи стягивающих винтов устанавливаются коаксиальные фланцевые соединители. У направленного ответвителя НО15-0,5-26-03Р корпус фланцевого соединителя имеет метрическую резьбу М6х0,75-6g, а у НО15-0,5-26-13Р – дюймовую 1/4"-36UNS-2A, что позволяет НО состыковаться как с отечественной, так и с зарубежной аппаратурой. У направленного ответвителя НО15-0,5-50-05Р корпус фланцевого соединителя имеет резьбу М7х0,75-6g.

Гнездовые контакты центральных проводников покрыты износостойким золотом и термообработаны определённым образом, что позволяет достичь отличной стабильности параметров, увеличить ресурс контактов и сделать их менее восприимчивыми к воздействию некачественных ответных частей. Гнездовые контакты центральных проводников в тракте 3,5/1,52 мм имеют «щёточную» конструкцию (патент РФ №122206), что показано на рисунке 6.

При соединении центрального проводника коаксиальной линии с линией связи используется специальный пружинный контакт, обеспечивающий механическую и температурную развязку. Он позволяет получить хорошие характеристики по отражению, температурной стабильности, а также упростить сборку направленного ответвителя.

В конструкции направленных ответвителей с воздушным диэлектрическим заполнением используется сверхширокополосная согласованная нагрузка на основе распределённых резистивных слоёв на микрополосковой плате. Достоинства по сравнению с нагрузками на дискретных элементах и на коаксиальных резисторах: уменьшенные габариты НО и превосходные параметры по согласованию.

ЛИТЕРАТУРА

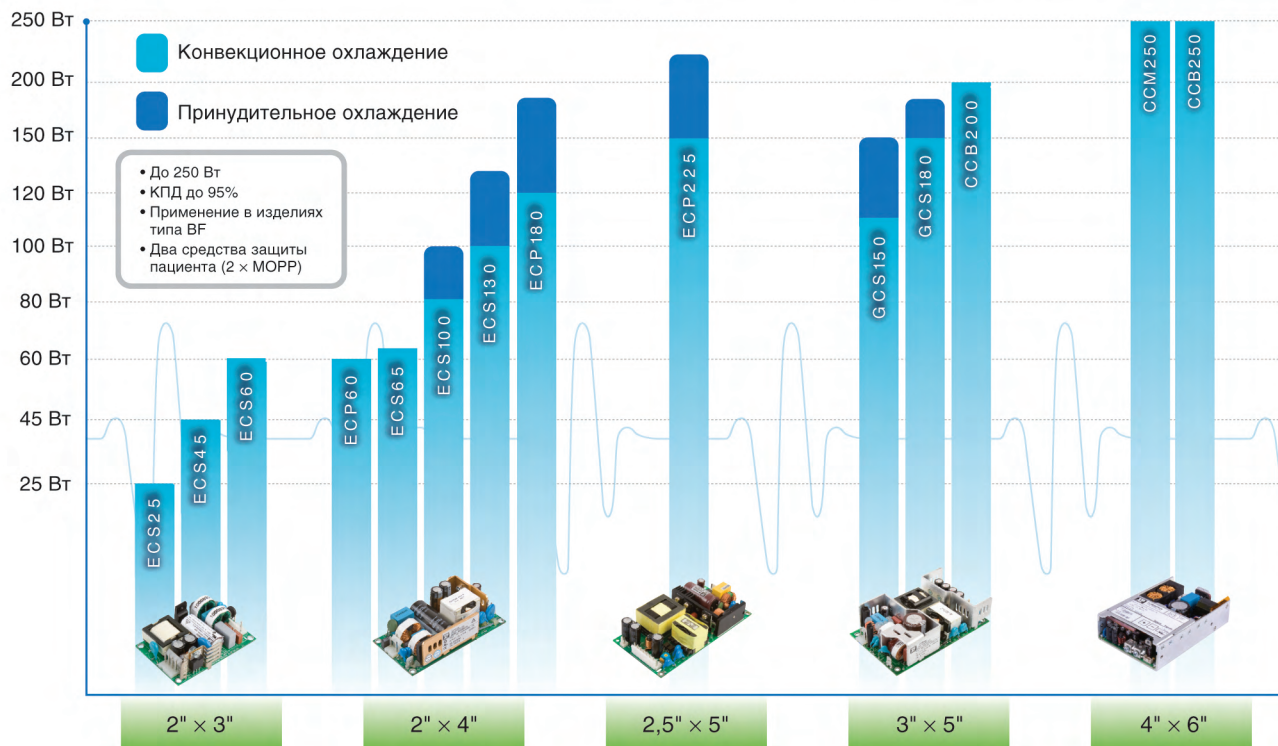
1. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Коллективная монография. Под ред. А.М. Кудрявцева. М. Радиотехника. 2006. 208 с. ил.
2. Андронов Е.В., Глазов Г.Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ. Т.1. Методы измерений на СВЧ. Томск. ТМЛ-Пресс. 2010. 804 с.
3. Pozar, David M. Microwave engineering. David M. Pozar. 4th ed. JohnWiley & Sons, Inc. 2012. 756 p.
4. Tullio Rozzi, Antonio Morini. Directional couplers. Encyclopedia of Rf and microwave engineering. Kai Chang, editor-in-chief. John Wiley&Sons, Inc. 2005. 1076–1085 p.
5. Dunsmore, Joel P. Handbook of microwave component measurements with advanced VNA techniques. Joel P. Dunsmore John Wiley & Sons, Ltd. 2012. 611 p.

Характеристики направленных ответвителей

Модель	Соединители	Диапазон частот, ГГц	КСВН портов, не более	Ответвление, дБ	Направленность, дБ, не менее	Вносимые потери, дБ, не более
НО16-2-20-12Р-12Р	Тип SMA (розетка)	4–20	1,25	17 ± 1	16	1
102020016	Тип SMA (розетка)	2–20	1,35	16 ± 0,5	16	1
87300В	Тип SMA (розетка)	1–20	1,35	10 ± 0,5	16	1,5
НО15-0,5-26-13Р	Тип 3,5 мм (розетка)	0,5–26,5	1,2	17,5 ± 2,5 (0,5 – 1 ГГц) 15 ± 1,5 (1 – 26,5 ГГц)	22	1,5
AV70602	Тип 3,5 мм (розетка)	2–26,5	1,35	15 ± 2	16	1,5
НО15-0,5-50-05Р	Тип 2,4 мм (розетка)	0,5–50	1,4	17,5 ± 2,5 (0,5 – 1 ГГц) 13 ± 3,5 (1 – 50 ГГц)	16	1,8
AV70601	Тип 2,4 мм (розетка)	2–40	1,42	15,5 ± 2,5	15	1,8

Высокоэффективные источники питания с конвекционным охлаждением для медицинских приборов

XP Power предоставляет обширный ряд источников питания AC/DC с конвекционным отводом тепла, сертифицированных для применений в медицинских приборах и аппаратах.



Посетите наш сайт для получения более подробной информации или запросите копию нового Руководства по выбору источников питания (Power Supply Guide) и рассмотрите полный ряд продукции.



Selector App
Available



XP Power
www.xppower.com

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER

ProSOFT®

МОСКВА

С.-ПЕТЕРБУРГ

ЕКАТЕРИНБУРГ

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

Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru

Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru



Реклама

Контроллер электронного замка с датчиком отпечатков пальцев

Павел Редькин (г. Ульяновск)

Предлагаемое устройство представляет собой встраиваемый электронный модуль, на основе которого возможно быстрое построение биометрического замка, электронного «вахтёра», или иной системы сигнализации, контроля и разграничения доступа. В качестве идентифицирующей информации для управления доступом в устройстве используются отпечатки пальцев.

Принцип действия и основные характеристики

Контроллер замка выполнен на базе недорогого миниатюрного промышленного сканера отпечатков пальцев GT-511C3 фирмы ADH Technology [1], [2], подключённого к цифровому блоку управления, который обеспечивает обмен со сканером командами и данными, интерфейс с пользователем, а также выдачу управляющих сигналов на внешнее исполнительное устройство. В качестве последнего предполагается использование электропривода замка или какой-либо системы сигнализации.

Контроллер работает следующим образом. В ждущем режиме на его выход подключения внешнего исполнительного устройства постоянно выдан пассивный логический уровень, соответствующий состоянию «заперто» («доступ запрещён»). После приложения к поверхности сканера подушечки пальца руки и последующего нажатия на любую из кнопок управления контроллер производит идентификацию. Приложенный палец сравнивается с каждым из хранящихся в энергонезависимой памяти отпечатков пальцев пользователей, обладающих правами доступа. В случае обнаружения совпадения на выход подключения внешнего исполнительного устройства кратковременно выдаётся активный логический уровень, что соответствует состоянию «отперто» («доступ разрешён»).

Помимо обычных пользователей в устройстве также определён пользователь, обладающий правами администратора. Он может настраивать и записывать в энергонезависимую память рабочие параметры устройства: выбирать активный логический уровень выхода (низкий или высокий), задавать значение времени удер-

жания активного уровня при разрешении доступа, получать информацию об общем количестве хранимых в памяти отпечатков пальцев и об уникальных идентификационных номерах (ID) этих отпечатков, задавать или отменять индивидуально для каждого из этих отпечатков право доступа. Для этого не требуется никаких дополнительных программных и аппаратных средств, кроме органов управления и индикации контроллера.

Также администратор имеет возможность производить снятие (регистрацию) отпечатков пальцев у новых пользователей и добавлять их в базу сканера, удалять из этой базы содержащиеся там отпечатки, выгружать (копировать) всю базу из сканера или загружать её в сканер, например, из другого сканера аналогичного типа, а также выполнять другие сервисные операции с устройством. Перечисленные действия возможны только при подключении к контроллеру через интерфейс управления и настройки персонального компьютера (ПК), работающего в режиме простого терминала с соответствующим программным обеспечением. Активация интерфейса, то есть перевод контроллера в режим управления и настройки, защищена двухуровневой системой контроля администрирования. В качестве идентифицирующей информации она использует отпечатки двух пальцев администратора (администраторов). Заметим, что снятие (регистрация) отпечатков технически осуществляется встроенными аппаратными средствами самого сканера.

Контроллер имеет следующие основные характеристики:

- первичное постоянное напряжение питания – 8...25 В;
- потребляемый ток в ждущем режиме (состояние «заперто»/«отперто») без

учёта тока внешнего исполнительного устройства – 195 и 210 мА соответственно;

- количество каналов подключения внешних исполнительных устройств – 1;
- тип выхода – твердотельное реле с полной гальванической развязкой от цепей управления, максимальное коммутируемое напряжение – 60 В (AC/DC), максимальный коммутируемый ток – 1 А (DC), 2 А (AC);
- интерфейс управления и настройки – RS-232, 8-N-1, 9600 бит/с.

Входящий в состав устройства сканер отпечатков пальцев GT-511C3 имеет следующие характеристики:

- технология исполнения сканера – оптическая (на отражение);
- тип сканера – оптический сенсор с эффективными размерами 14 × 12,5 мм, матрица – 216 × 240 пикселей, разрешение – 450 dpi;
- вероятность ложного принятия отпечатка (пропуска незарегистрированного отпечатка) FAR (False Acceptance Rate) – менее 0,001%;
- вероятность ложного отклонения отпечатка (отклонения зарегистрированного отпечатка) FRR (False Rejection Rate) – менее 0,1%;
- угол максимального допустимого отклонения приложенной подушечки пальца от осевой линии поля сканирования при идентификации отпечатка – 30°;
- максимальное количество отпечатков, хранящихся в энергонезависимой памяти сканера – 200;
- время регистрации (снятия одного отпечатка) – менее 3 с;
- время идентификации (для базы из 200 хранящихся в памяти отпечатков) – менее 1 с;
- потребляемый ток – менее 130 мА;
- диапазон питающих напряжений – 3,3...6 В;
- рабочий температурный диапазон составляет –20...+60°C;
- размеры: 37 × 17 × 9,5 мм.

Функционирование сканера GT-511C3 осуществляется в соответствии со следующими принципами.

При снятии (регистрации) отпечатка пальца (Fingerprint) производится ста-

тический захват изображения отпечатка фиксированного размера. В результате получается так называемый образ отпечатка (Fingerprint Image) разрешением 240×216 пикселей, занимающий в памяти сканера объём 51 840 байт. Преимущество этого способа состоит в получении полного изображения без необходимости двигать палец в процессе регистрации.

Затем, согласно определённому алгоритму, из захваченного образа извлекается уникальный набор данных об отпечатке, представляющий собой так называемый шаблон (Template) отпечатка, который по команде пользователя записывается в энергонезависимую память сканера. В памяти GT-511C3 каждый полученный таким образом шаблон занимает всего 506 байт. Это преобразование производится для обеспечения секретности и уменьшения объёма памяти, необходимого для хранения образов отпечатков. Секретность достигается за счёт необратимости преобразования, то есть восстановить исходный образ из шаблона невозможно. В то же время копирование из памяти сканера и запись в неё подготовленных другим сканером шаблонов возможны.

В ходе сеанса получения доступа, после приложения пальца и подачи команды, сканер производит захват образа отпечатка пальца и формирует из него шаблон, помещаемый в оперативную память для последующего анализа и сравнения.

Затем, в зависимости от поданной команды, полученный шаблон сравнивается или с заданным шаблоном из базы сканера (команда «Верификация 1:1»), или же последовательно со всеми хранящимися в базе N шаблонами (команда «Идентификация 1:N»). Заметим, что полное побитное совпадение из-за наличия в процедуре сканирования приближений, перекосов и сдвигов изображения, ошибок аппроксимации процедуры извлечения деталей и т.п. маловероятно. В связи с этим применяется алгоритм оценки степени совпадения, в котором оно считается подтверждённым после превышения заданного порога. В сканерах семейства GT-511Cx используется алгоритм SmackFinger 3.0, выполняющийся на встроенном 32-разрядном микроконтроллере (МК) HT32F2755 с архитектурой ARM Cortex M3.

Помимо основных задач, к которым относится снятие и распознава-

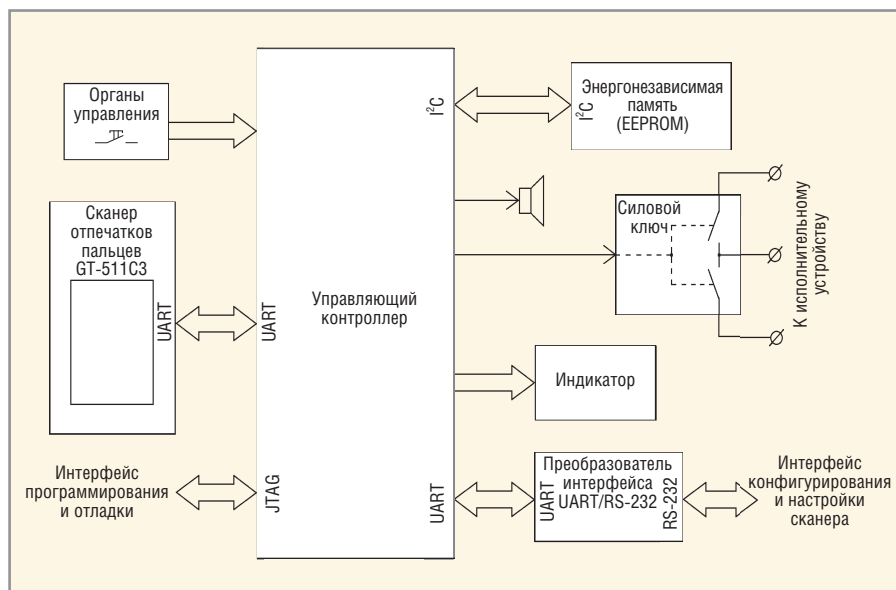


Рис. 1. Структурная схема контроллера замка

ние отпечатков, GT-511C3 имеет набор дополнительных функций, облегчающих построение на его основе систем контроля доступа. Это: загрузка в сканер и выгрузка из него во внешнее устройство как всей базы, так и отдельных шаблонов, выгрузка образа отпечатка непосредственно после его захвата, проверка наличия приложенного к сканеру пальца и т.п.

СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

Структурная схема контроллера замка приведена на рисунке 1.

Обмен командами и данными с внешними устройствами, а также конфигурирование и настройка сканера GT-511C3 осуществляется через стандартный интерфейс UART. В нашем случае в качестве внешнего устройства для сканера выступает управляющий контроллер, который, в свою очередь, подключается к внешним по отношению к нему устройствам через свой второй интерфейс UART, снабжённый преобразователем уровней UART/RS-232. В режиме администрирования сканера управляющий контроллер является полностью прозрачным для сигналов UART, то есть обеспечивает сквозное двустороннее их прохождение между двумя своими интерфейсами и беспрепятственное управление сканером. Во всех остальных режимах контроллер блокирует управление сканером, обеспечивая тем самым необходимый уровень секретности замка.

Управляющий контроллер выполнен на базе 32-разрядного МК LPC2129. Для программирования и отлад-

ки встроенной управляющей программы МК используется интерфейс JTAG. В качестве органов управления используются механические кнопки, подключённые к цифровым линиям ввода-вывода МК.

Индикатор, предназначенный для отображения режимов и операций устройства, представляет собой малогабаритный двухстрочный символьный ЖКИ, совместимый со стандартом HD44780. В составе устройства имеется также пьезоизлучатель, генерирующий звуковые сигналы высокого тона (успешное завершение операции, получение доступа и т.п.) и низкого (неудачное завершение операции, отказ в доступе и т.п.).

В качестве силового ключа управления внешним исполнительным устройством используется твердотельное реле с гальванической развязкой цепей управления, пригодное для управления нагрузками, питающимися постоянным или переменным током.

Внешняя многократно программируемая энергонезависимая память EEPROM, подключённая к управляющему контроллеру по шине I²C, используется для хранения задаваемых пользователем текущих настроек устройства: активного логического уровня выхода, значения временного интервала выдачи активного уровня при разрешении доступа, признаков разрешения/запрещения доступа для каждого из хранимых в устройстве отпечатков. Необходимо заметить, что наличие в составе устройства внешней памяти EEPROM не обязательно, однако при её отсутствии все вышеперечисленные поль-

зовательские настройки станут недоступны для задания и будут автоматически заменяться константами по умолчанию.

Для питания устройства в его составе имеются три стабилизатора напряжения. Первичный с выходным напряжением +5 В (DA2) предназначен для дополнительной стабилизации по питанию и расширения диапазона входных питающих напряжений устройства. Два вторичных (DA3, DA4) вырабатывают необходимые для питания МК напряжения +3,3 и +1,8 В соответственно. Заметим, что для построения управляющего контроллера можно без каких-либо переделок использовать готовую отладочную плату LPC-H2129 производства OLIMEX [5]. Подключить её можно с помощью имеющихся на плате разъёмов (за исключением вывода 5 микросхемы DA6).

Ёмкость использованной в устройстве микросхемы I2C EEPROM DD2 24LC64 (64 Кбит) выбрана в расчёте на введение в будущем дополнительных функций и для данной версии избыточна.

В зависимости от типа нагрузки возможны различные варианты её подключения, которые показаны на рисунке 3. Они отличаются сопротивлением открытого ключа, для варианта а – не превышающего 0,6 Ом [6], для

Для защиты от взлома контроллера замка необходимо сделать невозможным доступ извне, прежде всего, к цепям подключения внешнего исполнительного устройства, а также к шине UART между МК DD1 и сканером DA1. В авторском варианте контроллер замка выполнен в металлическом литом корпусе размерами $210 \times 110 \times 20$ мм со съёмной задней панелью, на которую выведены разъёмы питания, силового ключа и администрирования сканера. На переднюю панель вынесены кнопки SB1–SB3, индикатор HG1, светодиод HL1 «Состояние выхода», несколько отверстий для пьезоизлучателя и ниша сенсора сканера DA1. Разъём «JTAG», перемычка «DBG» и кнопка «Сброс», используемые при программировании МК, смонтированы непосредственно на плате и извне недоступны.

Внешний вид собранного контроллера замка показан на рисунке 4.

ВСТРОЕННАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

Встроенная управляющая программа МК позволяет управляющему контроллеру обмениваться командами и данными со сканером отпечатков, конфигурировать и настраивать сканер, управлять режимами и настраивать всё устройство, а также его интерфейс, с пользователями и администраторами.

Устройство может функционировать в трёх режимах:

- пользовательский (ждущий) режим, устанавливающийся по умолчанию после включения питания;
- режим администрирования (с входом только из пользовательского режима по предъявлению отпечатка пальца администратора);
- режим администрирования сканера (с входом только из режима администрирования по предъявлению отпечатка другого пальца администратора).

После включения питания устройство выводит на экран ЖКИ заставку с названием и номером версии встроенного ПО («FPsensor Vx.x»), после чего начинается тестирование сканера отпечатков и памяти EEPROM. Сначала, путём подачи контрольной команды и ожидания в течение заданного времени ответа, программа устанавливает наличие сканера. Далее анализ корректности ответного пакета позволяет проверить исправность сканера при его наличии. В случае отсутствия или некорректного подтверждения от сканера программа выводит на ЖКИ сообщение «Ошибка n GT-511C», где n – номер ошибки (0 – отсутствие, 1 – неисправность сканера), и передаёт управление в бесконечный пустой цикл. При исправном сканере программа кратковременно включает встроенный светодиод его подсветки.

После успешного завершения тестирования сканера программа переходит к тестированию микросхемы EEPROM. Это запись в EEPROM контрольного значения с последующей проверкой правильности записи. В случае ошибки на ЖКИ кратковременно выдаётся сообщение «Ошибка n I2C», где n – номер ошибки (0 – отсутствие ИС памяти, 1 – неисправность EEPROM). Так как отсутствие или неисправность EEPROM для устройства не является фатальным, программа в дальнейшем выполняет

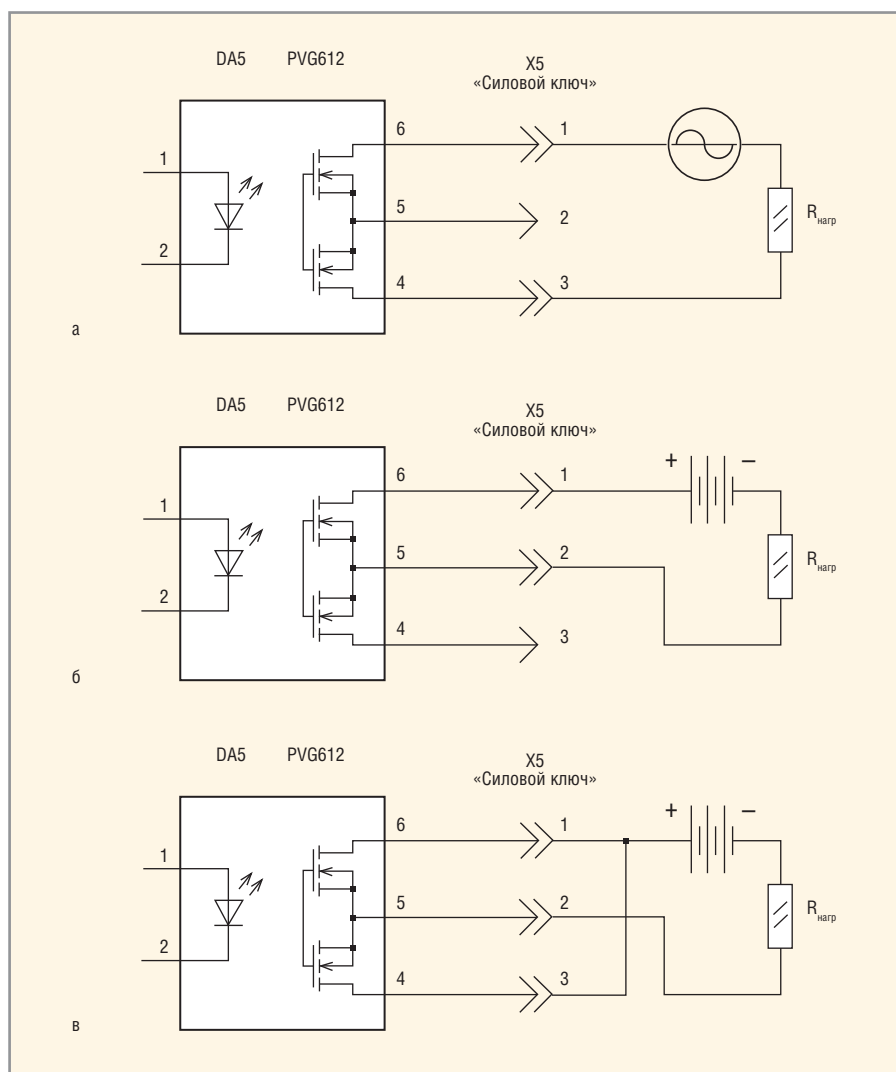


Рис. 3. Варианты подключения нагрузки:

а – управление нагрузкой, питающейся переменным или постоянным током;

б – управление нагрузкой, питающейся постоянным током (вариант 1);

в – управление нагрузкой, питающейся постоянным током (вариант 2)

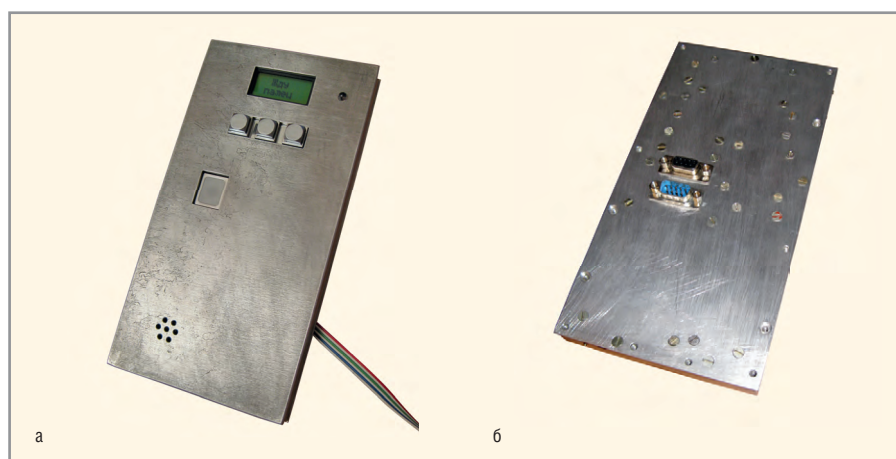


Рис. 4. Внешний вид контроллера замка: а – лицевая сторона; б – оборотная сторона

функционально ограниченную версию без использования EEPROM.

Далее устройство переходит в пользовательский режим, индицируемый заставкой «Жду палец» на ЖКИ. Выход подключения внешнего исполнительного устройства при этом всё время

находится в пассивном уровне («Заперто»). Для получения пользовательского доступа (открытия замка) пользователь должен приложить подушечку пальца к внешней поверхности матрицы сканера и однократно нажать на любую из кнопок: «ENT», «RET» или «SEL». После

этого сканер произведёт захват отпечатка пальца, обработает его, сделает анализ и сравнит со всеми хранимыми в базе шаблонами. В случае совпадения будет выдано сообщение «Доступ откр. XXX», где XXX – десятичный уникальный номер (ID) шаблона из базы сканера (ID = 1...199 для GT-511C3, ID = 1...19 для GT-511C1). При этом выход подключения внешнего исполнительного устройства на заданный интервал времени перейдёт в активный уровень («Отперто»). После истечения этого интервала устройство вернётся в пользовательский режим. При отсутствии совпадений будет выдано сообщение «Отказ в доступе», а выход подключения внешнего исполнительного устройства останется в пассивном уровне. В случае если после нажатия кнопки сканер не обнаружит приложенного пальца или палец окажется приложен неплотно, будет кратковременно выдано сообщение «Палец не приложен», после чего устройство вернётся в пользовательский режим.

Если палец к сканеру приложит администратор (шаблон его отпечатка хранится в базе под номером ID = 0, т.н. «мастер-палец»), то устройство перейдёт в режим администрирования, кратковременно выдав заставку «Мастер-режим». Затем на ЖКИ будет отображено меню администратора. Выход подключения внешнего исполнительного устройства при этом останется в пассивном уровне, то есть «мастер-палец» замок не откроет.

Меню администратора состоит из следующих строк-опций:

- строка «Акт. ур.» – задание активного уровня подключения внешнего исполнительного устройства;
- строка «Интерв.» – задание значения временного интервала выдачи активного уровня при разрешении доступа;
- строка «Кол. отп» – получение информации об общем количестве хранимых в памяти сканера шаблонов отпечатков;
- строка «Ном. отп» – получение информации о наличии в базе сканера шаблона с заданным ID, а также задание/отмена права доступа для этого шаблона;
- строка «Упр. GT» – переход в режим администрирования сканера, состоящий в активации прямого управления сканером, которое ведётся с подключённого через интерфейс RS-232 ПК.

Кольцевой перебор пунктов меню осуществляется с помощью кнопки «SEL», а выбранный пункт отмечается курсором «>». В каждый момент времени на ЖКИ отображаются только две смежные строки. Курсором отмечается верхняя. Для выбора отмеченного курсором пункта меню нужно нажать кнопку «ENT». Выход из режима администрирования возможен только после сброса МК (кнопка «Сброс») или отключения питания: корректная активация изменённых администратором параметров возможна только после сброса МК управляющего контроллера. Нажатие кнопки «RET» возвращает администратора в верхний ярус меню.

При исправной EEPROM в опции «Акт. ур.» возможно задание активного уровня подключения внешнего исполнительного устройства. Значение действующего уровня отображается на ЖКИ в виде надписей «Низкий» или «Высокий», помеченных значком «*». Для выбора уровня следует нажать кнопку «SEL». При этом каждое новое выбранное значение уже не помечается значком «*», пока не будет записано в EEPROM нажатием кнопки «ENT». Выбранное значение не воспринимается устройством как действующее, если оно не записано в EEPROM.

Аналогичным образом, выбрав опцию «Интерв.», можно задать и записать в EEPROM значение временного интервала выдачи активного уровня при разрешении доступа. Диапазон интервала составляет 1...15 с с дискретностью 1 с.

Выбрав опцию «Ном. отп», можно получить информацию о наличии в базе сканера шаблона с заданным номером ID. Требуемый идентификатор выбирается циклическим перебором при помощи кнопки «SEL» в диапазоне 0...199. Текущий идентификатор при этом отображается на ЖКИ в формате «ID=XXX». Символ «+» справа от числа означает наличие шаблона в базе, а «-» – его отсутствие. Справа от индикатора наличия/отсутствия шаблона отображается признак разрешения доступа для этого шаблона: «+», если доступ разрешён и «-», если запрещён. Для изменения значения признака на противоположное необходимо неоднократно нажать кнопку «ENT». При этом в EEPROM будет записано новое значение. Заметим, что возможна ситуация, когда шаблон отпечатка с ID в базе имеется, но доступ для него запрещён. В этом случае при попытке получения

доступа в пользовательском режиме на ЖКИ будет выдано сообщение «Отказ в доступе -» (если шаблон в базе отсутствует, то на дисплей будет выведено сообщение «Отказ в доступе» без знака «-»). Для шаблона «мастер-палец» с ID = 0 вне зависимости от значения признака пользовательский доступ всегда запрещён.

При отсутствии или неисправности EEPROM задание активного уровня подключения внешнего исполнительного устройства невозможно. Этот уровень задаётся по умолчанию как высокий. При этом исключается и возможность выбора значения интервала выдачи активного уровня при разрешении доступа. По умолчанию этот интервал будет равен 2 секундам. Также недоступен и выбор признака разрешения/отмены права доступа для каждого шаблона. По умолчанию для всех хранящихся в базе шаблонов, кроме ID = 0, пользовательский доступ будет разрешён.

Опция «Кол. отп» является справочной. Двойное нажатие на кнопку «ENT» выводит на ЖКИ трёхзначное число, соответствующее количеству шаблонов, хранящихся в памяти сканера. В это количество входит и «мастер-палец» с ID = 0. Наличие или отсутствие I²C EEPROM на эту опцию не влияет.

При выборе опции «Упр. GT» программа выводит на ЖКИ вопрос «Палец?», предлагая предъявить отпечаток для перехода в режим администрирования сканера. Для получения доступа в этот режим администратор должен приложить палец к сканеру и нажать на кнопку «ENT», после чего сканер произведёт захват отпечатка, обработает его и сравнит с шаблоном, хранящимся в базе под номером ID = 1 (т.н. «сканер-мастер-палец»). Далее на ЖКИ выводится заставка «Управл. GT-511C», и устройство переходит в режим прямого управления сканером. При этом все данные, поступающие извне в интерфейс RS-232, будут без изменений транслироваться программой в порт подключения сканера UART, а данные от сканера, в свою очередь, будут транслироваться в интерфейс RS-232. Таким образом, администратор получает полный контроль над сканером, в том числе возможность производить все доступные операции с базой шаблонов отпечатков. Выход из режима администрирования сканера возможен только после нажатия кнопки «Сброс» или отклю-

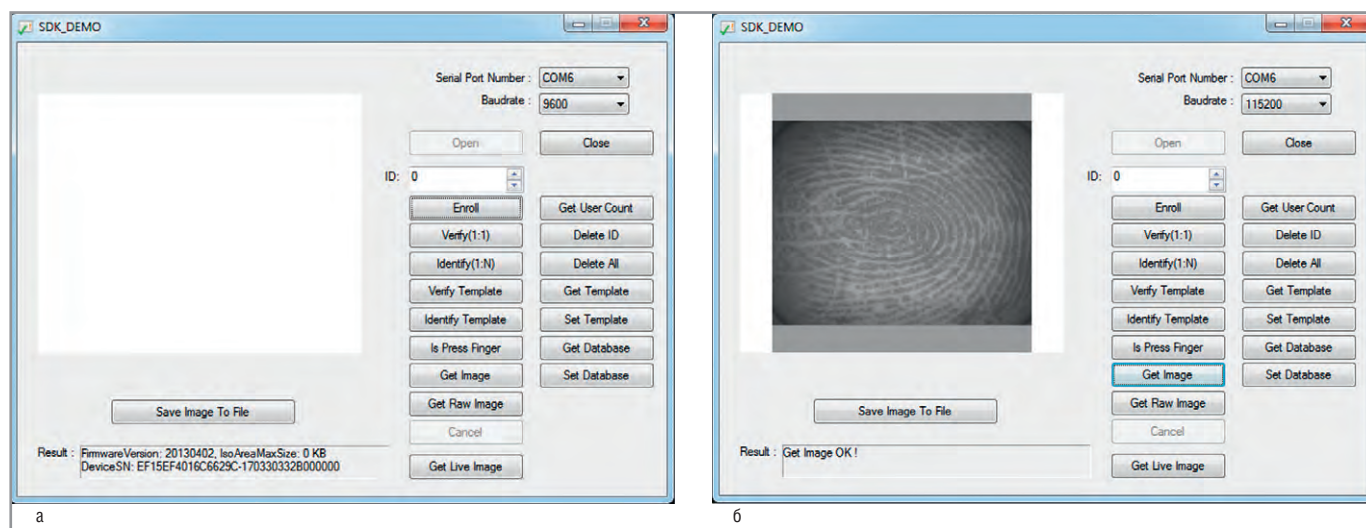


Рис. 5. Окно программы SDK_DEMO: а – после начальной инициализации («открытия») сканера GT-511C3; б – после выполнения команды захвата сканером образа отпечатка (Get Image)

чения питания. Следует заметить, что «сканер-мастер-палец» с ID = 1 может использоваться не только для административного, но и для пользовательского доступа. Заметим также, что в качестве «мастер-пальца» и «сканер-мастер-пальца» невозможно использовать один и тот же отпечаток. Кстати, порядок задания шаблона «сканер-мастер-палец» не отличается от порядка задания шаблона «мастер-палец».

Для повышения отказоустойчивости устройства, в управляющей программе используется встроенный «сторожевой» таймер МК (WDT) с длительностью тайм-аута 4 секунды. Команды перезапуска WDT содержатся в основном цикле программы, а также в её ветвях, осуществляющих обработку продолжительных по времени операций (разрешение/запрещение доступа, переходы между режимами и т.п.).

Программирование и отладка встроенной управляющей программы МК производились с помощью JTAG-адаптера-программатора JetLink 8 (это недорогой «клон» адаптера J-Link), подключаемого к разъёму X3 «JTAG» МК и к ПК хоста через порт USB. Исходный текст управляющей программы (и файл «прошивки» Flash-памяти МК), реализующей функции контроллера замка, содержатся в каталоге проекта Finger, архив которого можно скачать на сайте Soel.ru в дополнительных материалах к данной статье. Проект был подготовлен и отлажен в бесплатной версии (с ограниченным объёмом кода) интегрированной среды разработки IDE IAR Embedded Workbench for ARM V6.40.

Внимание! При программировании Flash-памяти МК на разъёме X4 «DBG»

должна быть установлена перемычка, при нормальной эксплуатации устройства – снята.

НАЛАДКА И РЕГУЛИРОВКА

Устройство практически не требует настройки или регулировки. Единственное, что может потребоваться – это установка уровня контрастности резистором R23, а яркости подсветки – резистором R24.

После выполнения всех вышеперечисленных действий можно переходить к администрированию сканера.

АДМИНИСТРИРОВАНИЕ СКАНЕРА

Администрирование, то есть настройка и конфигурирование сканера правами администратора осуществляется с помощью ПК (хоста), подключённого к контроллеру замка через интерфейс RS-232 в соответствующем режиме устройства. При этом на ПК необходимо запустить работающую под Microsoft Windows компьютерную программу поддержки сканера GT-511Cx SDK_DEMO.exe, которую можно бесплатно загрузить по ссылкам, указанным в литературе к статье [2], [3], [4]. Вид графического окна программы SDK_DEMO показан на рисунке 5.

Для установления связи между хостом и сканером необходимо предварительно в окне программы Serial Port Number выбрать номер COM-порта ПК, к которому подключён контроллер. Затем в окне Baudrate нужно задать скорость обмена (9600 бит/с) и кликнуть на кнопке Open. При этом хост передаст в сканер команду начальной инициализации («Открытие»). В ответ на неё сканер должен выдать информацию о себе,

включающую серийный номер и версию встроенного ПО. Эта информация отобразится в поле Result, как показано на рисунке 5а. В случае успешного завершения инициализации пользователю становится доступным набор операций со сканером, каждая из которых запускается кликом на соответствующей кнопке в окне программы.

Как было сказано ранее, вход в режимы администрирования и администрирования сканера в устройстве защищёны процедурой предъявления соответствующих отпечатков: «мастер-пальца» и «сканер-мастер-пальца». Однако при первом включении устройства в базе сканера нет ещё ни одного отпечатка, поэтому вход в указанные режимы невозможен. В связи с этим до начала эксплуатации устройства необходимо временно подключить сканер к хосту напрямую, минуя контроллер замка. Для этого потребуются дополнительный преобразователь уровней UART/RS-232, схема которого приведена на рисунке 6.

Автор использовал готовый преобразователь MOD-RS232 производства OLIMEX [7], выполненный по схеме, изображённой на рисунке 6.

При прямом подключении необходимо создать и записать в сканер шаблоны отпечатков пальцев администратора с ID = 0 и ID = 1. После сохранения этих шаблонов сканер можно администрировать уже в составе контроллера замка.

Рассмотрим порядок создания и записи одного шаблона отпечатка, например, с ID = 0. В поле ID программы необходимо задать уникальный идентификационный номер, под которым шаблон будет храниться в памяти ска-

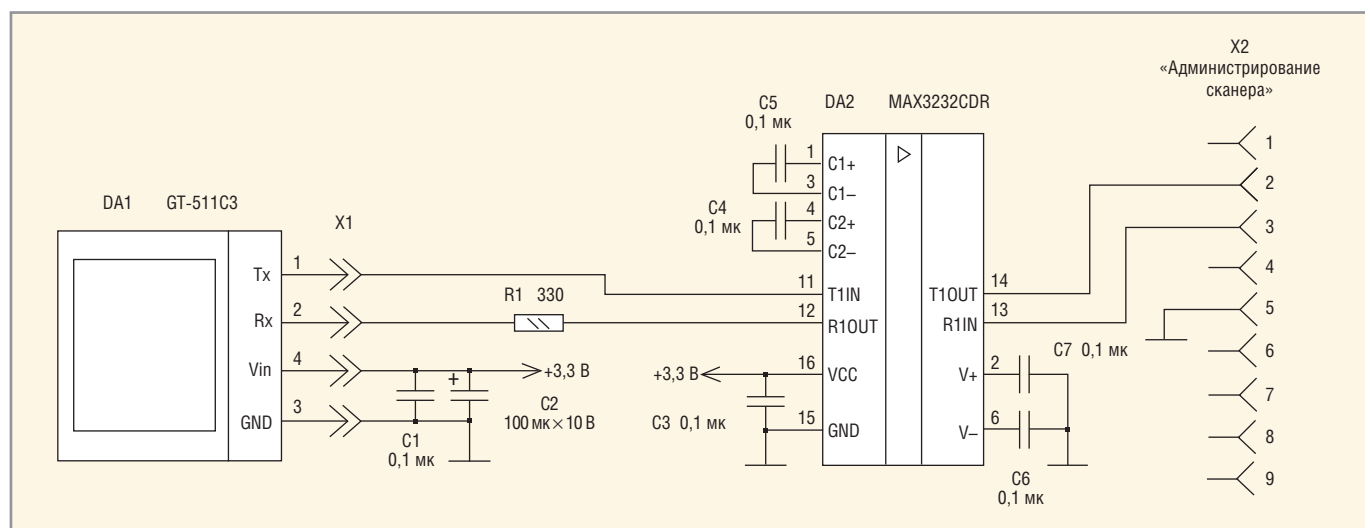


Рис. 6. Дополнительный преобразователь уровней UART/RS-232 для первичного администрирования сканера

нера. Несмотря на то, что встроенное ПО управляющего контроллера использует шаблоны с ID = 0, ID = 1 в качестве административных, а шаблоны с прочими ID – в качестве пользовательских, сам сканер никак не выделяет шаблоны 0 и 1 из общей базы. Процедура их создания ничем не отличается от прочих. Задав в поле ID значение 0, администратор кликает на кнопке запуска регистрации отпечатка Enroll, а затем трижды (каждый раз примерно на полсекунды с такими же интервалами) прикладывает свой палец к полю сенсора. Из трёх последовательно захваченных таким образом изображений отпечатков автоматически формируется шаблон. В случае успешного завершения регистрации в поле Result появится сообщение «Enroll OK (ID = 0)!». Это значит, что шаблон отпечатка с заданным ID = 0 создан и записан в энергонезависимую память сканера. В противном случае будет выдано сообщение об ошибке регистрации или об истечении времени ожидания сканера: процедуру необходимо повторить заново. Опыт эксплуатации показал, что для корректной регистрации шаблона отпечатка требуется некоторый навык.

Зарегистрировав отпечаток, можно сразу проверить реакцию сканера на его предъявление. Для этого нужно, задав соответствующее значение в поле ID, приложить палец к полю сенсора и кликнуть на кнопке команды верификации Verify [1:1]. Сканер захватит изображение отпечатка, сравнит его с шаблоном, имеющим указанный номер, и, при совпадении, выдаст сообщение «ID = 0.» (с указанием времени распознавания в мс). При несовпадении сообщение будет таким:

«ID = 0: NG!». Процесс захвата, сравнения и выдачи результата при приложенном пальце будет повторяться циклически. Прервать его можно кликом на кнопке Cancel. При распознавании зарегистрированного отпечатка процедуру пополнения базы отдельным шаблоном можно считать успешно завершённой.

Если, приложив палец, вместо верификации кликнуть на кнопке команды идентификации Identify [1:N], сканер будет циклически сравнивать захваченный отпечаток со всеми шаблонами отпечатков, имеющимися в данный момент в его базе. В случае совпадения будет выдаваться сообщение «ID = 0.» (с указанием времени распознавания в мс), в случае отсутствия совпадений – «NG!».

Аналогичным образом пополняем базу шаблоном с ID = 1.

В спецификации на сканер (Data-sheet) производитель рекомендует использовать для регистрации отпечатка «лучший» образ, а для верификации и идентификации – «не самый лучший». Это, очевидно, следует понимать так: при проведении регистрации подушечка пальца должна быть чистой и содержать полную, «эталонную» картину папиллярных линий с минимальными их повреждениями. В то же время при верификации и идентификации можно и нужно предъявлять как раз загрязнённый и даже поцарапанный палец. Нужно отметить, что встроенное ПО сканера не позволяет дважды произвести регистрацию шаблона одного и того же отпечатка под разными номерами ID. Произвести повторную регистрацию шаблона отпечатка под тем же номером ID также невозможно, пока более ранний шаблон не будет удалён.

Отдельный ненужный шаблон, равно как и вся база шаблонов, может быть стёрт из памяти сканера с помощью команд Delete ID, Delete All соответственно. Отдельный шаблон или всю базу можно выгрузить из сканера в виде файлов (с расширениями .dat и .db соответственно) и загрузить в сканер с помощью команд Get Template, Set Template, Get Database, Set Database. Эти команды удобно использовать для однократного создания и последующего копирования базы, например, на объектах с несколькими электронными «вахтёрами» со сканерами одинаковой модели.

Команда Get User Count возвращает в поле Result значение общего количества шаблонов, хранящихся в данный момент в базе. Команда Is Press Finger позволяет проверить, приложен ли в данный момент палец к полю сенсора. Сканер производит проверку своими встроенными средствами. При обнаружении приложенного пальца выдаётся сообщение «Finger is pressed!». В противном случае – «Finger is not pressed!». Заметим, что указанную проверку сканер производит автоматически каждый раз перед выполнением команды верификации или идентификации.

Команды Get Image, Get Raw Image, Get Live Image, Save Image To File поддерживают операции непосредственно с образами отпечатков, в том числе с необработанными, т.н. «сырыми» (raw). Поскольку в энергонезависимой памяти сканера образы не хранятся, то их графическое отображение на экране, как показано на рисунке 5б, или выгрузка в виде графических файлов (.bmp), возможны только непосредственно после захвата, пока они

хранятся в оперативной памяти. Необходимо помнить, что при выполнении перечисленных четырёх команд через интерфейс сканера передаётся значительный объём данных. На скорости 9600 бит/с, жёстко заданной для обмена со сканером в контроллере замка, передача данных производится довольно медленно. В связи с этим, если имеется необходимость использования операций с образами отпечатков, рекомендуется временно использовать прямое подключение сканера к хосту (см. рис. 6). При этом можно задать в окне Baudrate программы SDK_DEMO более высокую скорость обмена. В ходе начальной инициализации сканера программа перенастроит интерфейс UART на новую скорость.

Команды Verify Template, Identify Template позволяют произвести верификацию и идентификацию в базе образа, не захваченного с поля сенсора, а загруженного (предъявленного) в сканер извне в виде файла.

При наличии в составе устройства микросхемы I²C EEPROM DD2 следует при первом же администрировании установить требуемые настройки

в опциях «Акт. ур.», «Интерв.» и «Ном. отп», как это описано выше. Необходимо добиться корректного отображения диапазона значений интервала выдачи активного уровня путём осуществления полного цикла перебора всех значений «по кольцу».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе эксплуатации не было отмечено ни одного случая ложного приятия сканером GT-511C3 отпечатка. Что же касается случаев несрабатывания по зарегистрированному отпечатку (FRR), вероятность чего производитель заявляет на уровне менее 0,1%, то их было немало. По оценке автора, величина FRR у используемого экземпляра GT-511C3 составила порядка 10...15%, что, однако, не портит хорошего впечатления от сканера. В случае несрабатывания по зарегистрированному отпечатку процедуру предъявления этого отпечатка необходимо просто повторить. Угол максимального допустимого отклонения приложенной подушечки пальца от осевой линии поля сканирования, по оценке автора, может быть гораздо больше 30°, вплоть до 90°.

Опытным путём было установлено, что даже при достаточно плотном приложении к поверхности матрицы сканера подушечки абсолютно сухого пальца довольно велика вероятность выдачи сообщения «Палец не приложен». Для надёжного детектирования приложенного пальца и перехода к процедуре его распознавания желательно предварительно чуть увлажнить его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fingerprint reader module. www.adh-tech.com.tw/?fingerprint-scanner,83.
2. GT-511C3 / GT-511C31. www.adh-tech.com.tw/?22,gt-511c3-gt-511c31.
3. Fingerprint Scanner – 5V TTL (GT-511C1). Documents: Datasheet, Demo Software. www.sparkfun.com/products/11836.
4. Fingerprint Scanner – TTL (GT-511C3). Documents: Datasheet, Demo Software. www.sparkfun.com/products/11792.
5. www.olimex.com/Products/ARM/NXP/LPC-H2129/.
6. www.irf.com/browse?Dy=1&Nty=1&Ntt=PVG612#tab-tab2.
7. www.olimex.com/Products/Modules/Interface/MOD-RS232/open-source-hardware. ©



Посетите сайт журнала СТА! >>

Ведущий журнал для специалистов в области АСУ ТП и встраиваемых систем

WWW.CTA.RU

Формализация задачи повышения скорости передачи информации по каналам радиосвязи автоматизированных систем

Владимир Филатов, Виктор Сивов (Москва)

Развитие технических возможностей систем обработки информации на фоне ужесточения временных ограничений к информационному обеспечению вычислительных средств подчёркивает необходимость повышения скорости передачи информации по каналам радиосвязи автоматизированных систем управления (АСУ).

Качество выполнения возлагаемых на АСУ задач в большей степени обусловлено показателем скорости передачи информации в каналах радиосвязи. Однако возможностям повышения скорости передачи информации препятствуют заданные ограничения по мощности передающего тракта и диапазона частот. Это напрямую связано с несовершенством используемых на сегодняшний день в военных системах радиосвязи сигнально-кодовых конструкций (СКК).

Таким образом, очевидна задача повышения скорости передачи информации в системах радиосвязи, которая может быть решена за счёт следующих методов:

- развитие широкополосных радиоканалов, обладающих повышенной помехоустойчивостью;
- синтез и исследование шумоподобных псевдослучайных последовательностей, которые позволяют одновременно решать задачу синхронизации в условиях факторов замираний и многолучёвости радиосигнала;
- совершенствование видов модуляции, способных передавать несколько информационных бит в символе с учётом минимального расхода полосы частот и мощности передающего устройства.

На основании проведённого анализа общая задача повышения скорости передачи информации в каналах

систем радиосвязи формулируется следующим образом.

Дано: в перспективной радиолинии используется метод m -ичной модуляции из заданного множества возможных методов $\{M\}$; исходная вероятность ошибки на бит составляет 10^{-3} .

Ограничения:

- зафиксировано значение выделенной полосы частот радиоканала $2\Delta f_{\text{Гц}}$;
- зафиксировано значение отношения сигнал/шум $q, P_c/P_{\text{ш}}$.

Найти: структуру СКК, обеспечивающую требуемое значение скорости передачи информации бит/с при указанных ограничениях.

Для решения задачи по обеспечению высоких скоростей передачи информации существует два подхода в борьбе за повышение спектральной эффективности.

Первый подход характеризует собой многоканальность с кодовым разделением используемой полосы для перераспределения суммарного информационного потока между запросами абонентов сети. По всем параметрам кодовое разделение каналов наиболее предпочтительно в системах радиосвязи в силу высоких способностей в борьбе с помехами.

Второй подход состоит в использовании спектрально-эффективных видов модуляции. Увеличение скорости передачи информации требует дополнительных энергетических затрат. В современных системах связи наи-

более известны и применимы следующие спектрально-эффективные виды модуляции: M-PSK, M-FSK и M-QAM. При этом предлагается новый способ энерго-спектрально-эффективной модуляции сигналов.

В условиях значительной загрузки частотного ресурса существует проблема эффективного его использования при организации радиосвязи. Предельное значение пропускной способности в ограниченной полосе частот определено теоремой Шеннона:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right), \quad (1)$$

где W – выделенная полоса частот, $P_c/P_{\text{ш}}$ – отношение мощности сигнала к мощности белого гауссового шума, C – скорость передачи двоичных данных.

Выражение (1) не объясняет способ кодирования передаваемых данных, чтобы достичь указанного значения пропускной способности. С ростом длины кода (см. рис. 1), скорость в каждом канале передачи информации будет неограниченно уменьшаться, а число каналов – пропорционально увеличивается в условиях фиксированной полосы выделенных частот. В этом случае общая скорость передачи информации не изменяется, а помехоустойчивость увеличивается пропорционально длине кодовой последовательности. Сегодня используются следующие способы ортогонального разделения каналов: временной, частотный и кодовый [1]. Способы временного и частотного разделения широко применяются в современных коммерческих системах связи, где не предъявляется высоких требований к помехоустойчивости и скрытности.

Показатель скорости передачи информации имеет вид функционала:

$$R = F(2\Delta f(\lambda_1), \bar{M}, q(\lambda_2)) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где, $\lambda_1 \leq 1$ – коэффициент эффективности использования выделенной полосы, при этом $\lambda_1 = 1$ с условием использования ортогональных

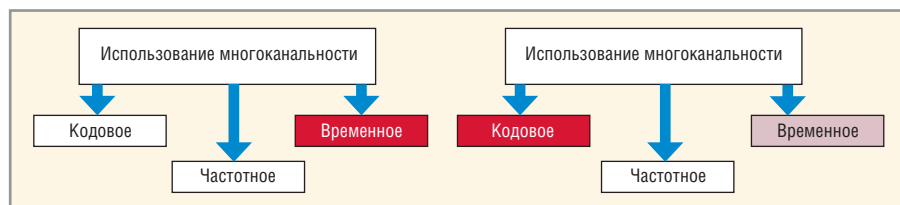


Рис. 1. Подходы при повышении скорости передачи информации в радиоканале

псевдослучайных последовательностей, λ_2 – коэффициент эффективности мощности передатчика, характеризующий эффективность вида модуляции ($\frac{1}{c \cdot B_T}$), $2\Delta f(\lambda_1) \leq F_{\text{доп}}(\lambda_1)$ – полоса частот, $M \in (PSK, FSK, QAM, \text{КАИМ})$ – множество типов спектрально-эффективных модуляций сигнала, $q(\lambda_2) \leq q_{\text{max}}(\lambda_2)$ – отношение сигнал/шум на входе приёмника. Важно отметить, что при этом к помехозащищённости и скрытности предъявляются следующие требования: $P \geq P_{\text{зад}}$ – показатель помехозащищённости, $H \geq H_{\text{зад}}$ – показатель скрытности, где $P_{\text{зад}}$ и $H_{\text{зад}}$ – нижние границы этих показателей.

С учётом требуемых показателей скрытности и помехоустойчивости, решение задачи представляется в виде проекции семейства векторов на ось R с началом в нулевой координате. Конец вектора, как показано на рисунке 2, должен находиться вне области снижения показателей P и H .

Решая многокритериальную задачу (2) методом декомпозиции относительно скорости передачи информации R , скрытности H и помехозащищённости P , минимизации энергетических затрат $P_{\text{прд}}$ при заданных ограничениях на отдельные параметры, необходимо определить или выбрать типы используемых кодов для ортогонального разделения каналов многоканального передающего устройства, выбрать и обосновать численные значения длительности кодовых последовательностей, задающих максимальное число информационных каналов передающего устройства и определяющих помехозащищённость канала связи [2]. Кодовые последовательности оказывают влияние на оценку скрытности структуры используемых сигналов и вида их модуляции.

Поскольку ресурсными параметрами, определяющими ограничения, в данном функционале являются $2\Delta f$ и $P_{\text{прд}}$, то показатель R можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} R(\lambda_1, \lambda_2) = \lambda_1 2\Delta f + \lambda_2 q \\ 2\Delta f(\lambda_1) \leq F_{\text{доп}}(\lambda_1) \\ q(\lambda_2) \leq q_{\text{max}}(\lambda_2) \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку $\lambda_1 \rightarrow 1$ при условии использования ортогональных последовательностей, то решение задачи по разработке способа построения СКК определяется условием: $\sum(P_1 \oplus P_2) = 0$, где P_1 и P_2 – модулирующие последовательности. Коэффициент λ_1 характеризует

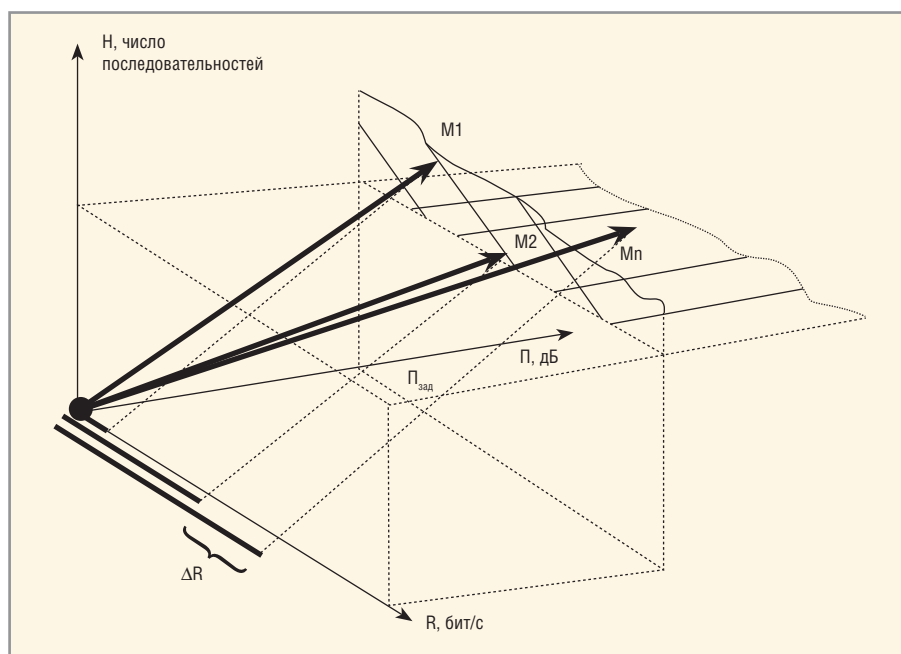


Рис. 2. Графическое решение задачи повышения скорости передачи информации

затрачиваемую энергию передатчика на информационную составляющую в заданной полосе частот и эффективность применяемого вида модуляции. Он функционально связывает отношение сигнал-шум с количеством передаваемых бит в символе и может быть определён с помощью численного моделирования.

Для повышения скорости передачи информации в каналах радиосвязи наиболее разумно применять ортогональные последовательности больших ансамблей в совокупности со

спектрально эффективными способами модуляции СКК. Такая конструкция сигнала позволит обеспечить заданный уровень помехоустойчивости и структурной скрытности сигнала с учётом требования максимума скорости передачи информации в радиоканале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томаси У. Электронные системы связи. Техносфера. М. 2007 г. 1360 с.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М. Мир. 1983. Том 2. 256 с.





IF/RF & Microwave Design
advantex

UNO-10M

Диапазон частот: **100 кГц .. 12 ГГц**

Шаг перестройки: **0.001 Гц**

Уровень фазового шума: **-140 дБн/Гц**
при отстройке **20 кГц @ 1 ГГц**

Выходная мощность: **-10...+15 дБм**

Шаг регулировки: **0.5 дБ**

Время перестройки:
шаг 10 МГц: **<1 мкс**
шаг 1 ГГц: **<40 мкс**
во всем диапазоне: **<140 мкс**

Опорный сигнал:
диапазон частот: **1-250 МГц**
уровень мощности: **0±10 дБм**

Габаритные размеры: **185x87.5x26.8 мм**

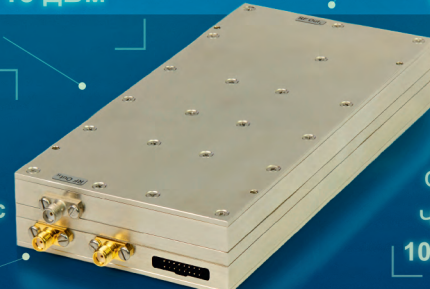
Синтезатор частот

Сделано в России

Выход опорной частоты: **10/100 МГц**

Рабочий диапазон: **-40...+65°C**

www.advantex.ru
info@advantex.ru



Эффективность проектирования заказных схем в синтезаторе LeonardoSpectrum

Николай Авдеев, Пётр Бибило (г. Минск, Беларусь)

В статье сравнивается эффективность результатов проектирования заказных СБИС в различных версиях синтезатора LeonardoSpectrum. Эффективность определяется уменьшением площади и увеличением быстродействия синтезируемых схем. Сравнение версий проведено на примерах VHDL-описаний проектов цифровых схем. Установлено, что первые версии программы были ориентированы на получение схем меньшей площади, более поздние – на уменьшение задержки; в последних версиях достигается компромисс между этими характеристиками СБИС.

ВВЕДЕНИЕ

После этапа моделирования и верификации проекта цифровой системы (схемы) наступает решающий этап проектирования – синтез логических схем в выбранной целевой технологической

библиотеке. Для реализации схемы на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) применяются различные пакеты программ: XST в системе проектирования ISE (Xilinx), Synplify (Synopsys), LeonardoSpectrum [1] (Mentor Graphics).

Синтезатор LeonardoSpectrum используется, в том числе, и для проектирования заказных СБИС. Пользователь может выполнить синтез в собственной технологической библиотеке, подготовив описания элементов целевой библиотеки, либо осуществлять управление процессом синтеза, выбирать критерии и режимы оптимизации схемы и устанавливать технологические ограничения, например требование к задержке. Программа может работать как в ОС Linux, так и в ОС Windows. На настоящий момент сменилось большое число её версий.

Для пользователей LeonardoSpectrum актуальным является вопрос о том, насколько повышается качество (уменьшается площадь, повышается быстродействие) получаемых логических схем со сменой версий программы. С этой целью в статье проанализирован опыт работы с различными версиями синтезатора LeonardoSpectrum и приведены результаты экспериментов практических примеров.

ПРИМЕРЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Все примеры представлены в виде функциональных либо алгоритмических описаний на языке VHDL. Первую группу составляют функциональные описания комбинационной логики, соответствующие представлениям логических функций в виде систем ДНФ (двухуровневые И/ИЛИ представ-

ления) и в виде многоуровневых представлений в базисе И, ИЛИ, НЕ. Данные примеры взяты из источника [2].

Другую группу примеров составляют алгоритмические описания проектов цифровых систем, взятые из практики проектирования либо из Интернета [3] (примеры dec_8b10b, enc_8b10b). Во всех экспериментах была использована одна и та же библиотека проектирования отечественных КМОП СБИС [4], содержащая 35 элементов типа 2И-НЕ, 3И-НЕ, 2-ИЛИ-НЕ, 3-ИЛИ-НЕ (и других) и три типа триггеров.

Эксперимент 1 проводился с целью выбора критерия оптимизации (*Area*, *Delay*) и режима трудоёмкости оптимизации (*Optimize effort*), при которых синтез приводил к получению схем, меньших по площади и задержке. Устанавливаемый в программе параметр режима «Optimize effort» может принимать значения *remap*, *quick*, *standard* [5].

Смысл этих значений следующий:

- *remap* выполняет локальную оптимизацию и технологическое отображение в целевую библиотеку;
- *quick* (режим по умолчанию) выполняет одну итерацию оптимизации на основе быстрых алгоритмов и применяется на начальном этапе проектирования;
- *standard* выполняет несколько итераций оптимизации и технологического отображения на основе различных методов, при этом получаемые результаты, как правило, лучше, чем в режиме *quick*.

Синтезатором можно управлять как с помощью графического интерфейса, так и с помощью TCL-скриптов. В листинге приведён скрипт (сценарий), используемый при синтезе в эксперименте 1, строка комментариев начинается с символа *#*. При проведении эксперимента 1 в скрипте вместо параметра *area* команды *optimize* использовался параметр *delay*, а вместо значения *standard* параметра *effort* использовались также значения *remap* либо *quick*.

По результатам сравнения синтезированных проектов схем версии программы LeonardoSpectrum можно условно поделить на три группы – L2003, L2006

Скрипт для выполнения синтеза схемы b2 в эксперименте 1

```
clean_all
set PROJECT "b2"
set ENTITY_NAME b2
set VHDL_FILE_NAMES "b2.vhd"
set_working_dir $PROJECT
# чтение проекта
read -design $ENTITY_NAME \
    $VHDL_FILE_NAMES
# чтение библиотеки power
load_library power.syn
# оптимизация и синтез
optimize -target power -macro \
    -area -effort standard \
    -hierarchy flatten
optimize_timing
report_area -cell_usage
report_delay -num_paths 1 \
    -critical_paths \
    -clock_frequency
# write netlist
write b2_area_standard_sch.vhd ;
```

Таблица 1. Примерная эквивалентность версий синтезатора LeonardoSpectrum

Версия	Условное название для эквивалентных версий
2003b.35	L2003
2004a.30	L2006
2005a.82	
2006a.59	
2007a.37	
2008a.5	L2011
2009a.6	
2010a.7	
2011a.4	

и L2011, дающие примерно одинаковые результаты синтеза. Основанием для такого деления являются существенные различия в площади и задержке получаемых логических схем (см. табл. 1).

Результаты первого эксперимента по сравнению трёх базовых версий L2003,

L2006, L2011 приведены в таблице 2, где знаком «*» отмечены лучшие результаты – параметры площади (в условных единицах) и задержки (в наносекундах) отдельно для каждой из версий. Жирным шрифтом выделены лучшие решения совместно по трём верси-

ям синтезатора. В столбце «Критерий оптимизации» приведён критерий *Area* или *Delay*, в столбце «Трудоёмкость оптимизации» указано значение этого параметра, при котором получена схема меньшей площади либо с меньшей задержкой.

Таблица 2. Результаты эксперимента 1

Вид проекта	Название схемы	Критерий оптимизации	Трудоёмкость оптимизации	L2003		L2006		L2011		Сравнение с L2011				
				S	τ	S	τ	S	τ	S _{L2003} /S _{L2011}	τ _{L2003} /τ _{L2011}	S _{L2006} /S _{L2011}	τ _{L2006} /τ _{L2011}	
Комбинационная логика	b2	area	standard	*141581	13,38	*211588	11,10	*158801	11,36	0,89	1,18	1,33	0,98	
		delay	quick	313892	*9,83	471711	*6,53	313892	*9,83	1,00	1,00	1,57	0,73	
	Chkn	area	quick	106667	*7,48	119685	7,28	106667	7,48	1,00	1,00	1,12	0,97	
		area	standard	*83934	11,47	*96556	9,98	*92823	*6,70	0,90	1,71	1,04	1,49	
	dk48	delay	quick	119747	9,10	132397	*6,53	119747	9,10	1,00	1,00	1,12	0,76	
		area	quick	30082	7,44	41510	6,06	*30082	7,44	1,00	1,00	1,38	0,81	
		area	standard	*30043	7,54	*41404	6,84	*30082	7,44	1,00	1,01	1,38	0,92	
		delay	quick	34144	*6,88	45477	*6,01	34144	*6,88	1,00	1,00	1,19	0,98	
	FRG2	delay	standard	33240	7,43	42140	6,80	34144	*6,88	1,00	1,00	1,33	0,87	
		area	standard	*168522	7,64	*196689	6,73	*250112	*7,56	0,67	1,01	0,79	0,89	
		delay	standard	188554	*6,89	255430	*5,02	270809	8,41	1,00	1,00	1,30	0,66	
		l8	area	quick	159292	7,82	264726	5,81	*159292	*7,82	1,00	1,00	1,66	0,74
	area		standard	*118692	7,32	*160012	5,73	*159292	*7,82	0,75	0,94	1,00	0,73	
		delay	standard	126884	*6,72	206187	*4,82	176992	8,71	1,00	1,00	2,06	0,68	
		lbn	area	quick	42654	5,18	*51498	5,10	*42654	5,18	1,00	1,00	1,21	0,98
	area		standard	*41231	6,61	54126	5,97	*42654	5,18	0,97	1,28	1,27	1,15	
		delay	remap	97103	*4,87	122643	*3,88	97103	*4,87	0,97	1,28	1,27	1,15	
			area	remap	219707	*8,09	291081	7,77	219707	*8,09	1,00	1,00	1,32	0,96
	area		standard	*115964	13,27	*147624	12,91	*131509	8,83	0,88	1,50	1,12	1,46	
		delay	remap	260480	8,93	349849	*6,80	260480	8,93	0,88	1,50	1,12	1,46	
			area	remap	213005	*7,60	271221	6,60	213005	7,60	1,00	1,00	1,27	0,87
			area	standard	*102131	9,36	*113944	9,63	*117448	*6,91	0,87	1,35	0,97	1,39
		delay	quick	172974	8,63	192605	*5,52	172974	8,63	1,00	1,00	1,22	0,79	
		prom2	area	quick	602791	*11,50	*721873	9,70	602791	11,50	1,00	1,00	1,20	0,84
			area	standard	*555656	13,31	723386	11,52	*556309	*11,41	1,00	1,17	1,30	1,01
		delay	quick	688198	11,54	837469	*8,02	688198	11,54	1,00	1,00	1,03	0,73	
			area	quick	323690	*8,37	348125	7,75	323690	8,37	1,00	1,00	1,08	0,93
			area	standard	*276456	12,59	*301186	11,41	*303100	*8,01	0,91	1,57	0,99	1,42
		delay	quick	359185	9,21	372671	*7,00	359185	9,21	1,00	1,00	1,06	0,74	
Не полностью определённые булевы функции	verg_1	area	standard	*370250	16,83	*520129	13,58	*446880	13,62	0,83	1,24	1,16	1,00	
		delay	quick	980389	*13,59	1303498	*10,83	980389	*13,59	–	–	–	–	
	verg_2	area	quick	972505	*15,56	1276230	13,89	972505	15,56	1,00	1,00	1,31	0,89	
		area	standard	*540981	28,09	*762881	24,35	*658713	*15,02	0,82	1,87	1,16	1,62	
	delay	quick	1048705	16,79	1443490	*12,95	1048705	16,79	–	–	–	–		
Алгоритмические описания	Belts	area	quick	4934277	*65,26	34493590	70,44	4934277	65,26	1,00	1,00	6,99	1,08	
		area	standard	*4577274	121,35	*12757498	99,71	*4650707	77,45	0,98	1,57	2,74	1,29	
		delay	standard	4885580	76,33	24322121	*66,21	5053415	*59,18	1,00	1,00	69,33	–	
		area	quick	55047	5,60	56977	5,28	*55047	5,60	1,00	1,00	1,04	0,94	
	dec_8b10b	area	standard	*54388	5,77	*56140	5,54	*55047	5,60	0,99	1,03	1,02	0,99	
		delay	remap	62468	*4,36	64577	*4,36	62468	*4,36	0,99	1,03	1,02	0,99	
	enc_8b10b	area	quick	81859	7,76	99486	7,23	*81859	*7,60	1,00	1,02	1,22	0,95	
		area	standard	*81016	*7,47	*95937	6,69	*81859	*7,60	0,99	0,98	1,17	0,88	
		delay	standard	85168	7,57	116103	*6,30	85530	8,08	1,00	1,00	1,32	0,85	
		Main	area	quick	1047578	44,17	*1524785	40,59	*1052433	*44,28	1,00	1,00	1,45	0,92
			area	standard	*1017636	*44,00	1695656	40,34	*1052433	*44,28	0,97	0,99	1,61	0,91
		delay	standard	1093786	45,59	6715547	*37,06	1125146	53,11	1,00	0,99	4,73	0,76	
		timer2	area	remap	579472	*11,60	–	–	579472	*11,60	1,00	1,00	–	–
	area		quick	*533052	11,91	655672	12,46	*533052	11,91	1,00	1,00	1,23	1,05	
	area		standard	534268	11,96	*611473	12,01	*533052	11,91	1,00	1,00	1,15	1,01	
	delay		standard	554462	12,17	755019	*11,01	556454	11,77	1,00	1,00	1,87	1,01	
		Uart	area	quick	409656	9,55	477821	9,17	*409656	9,55	1,00	1,00	1,17	0,96
			area	standard	*380456	9,55	*457861	9,08	*409656	9,55	0,93	1,00	1,12	0,95
			delay	remap	430938	*8,12	3599764	8,51	430938	*8,12	0,93	1,00	1,12	0,95
			delay	quick	420581	8,27	569389	*7,61	420581	8,27	1,00	1,00	8,35	1,05
		vga80x40	area	quick	*170290	13,82	*171920	13,82	*170290	13,82	1,00	1,00	1,01	1,00
			area	standard	172455	13,82	174989	13,82	*170290	13,82	1,01	1,00	1,03	1,00
			delay	quick	198737	*12,50	203162	*12,50	198737	*12,50	1,00	1,00	1,04	1,00
			delay	standard	196371	*12,50	201756	*12,50	198737	*12,50	1,00	1,00	1,02	1,00
		Watchdog	area	quick	*105657	13,06	109496	12,30	105657	13,06	1,00	1,00	1,04	0,94
			area	standard	*105657	13,06	*108732	12,30	*105629	13,15	1,00	0,99	1,03	0,94
			delay	quick	108804	*10,88	112789	*10,12	108804	*10,88	1,00	1,00	1,04	0,94
			delay	standard	109100	*10,88	112409	*10,12	108760	10,98	1,00	1,00	1,04	0,93
	Количество лучших решений				19	3	0	21	5	4				

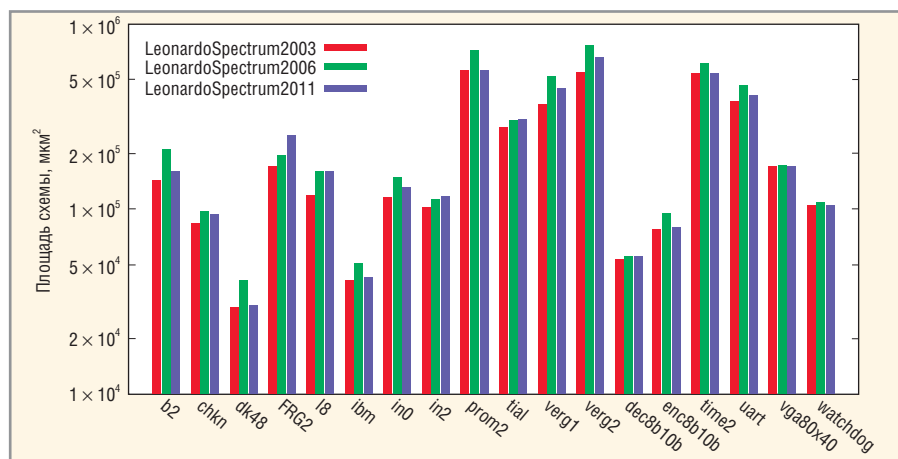


Рис. 1. Сравнение площадей схем, полученных в различных версиях синтезатора LeonardoSpectrum

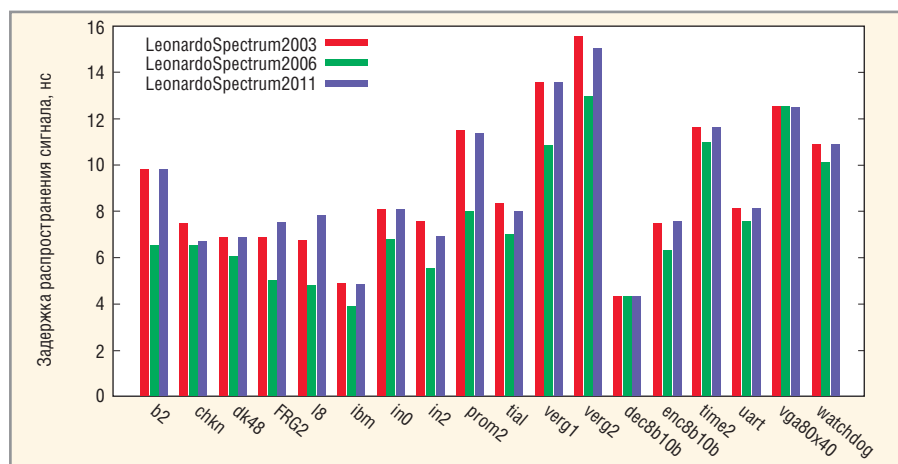


Рис. 2. Сравнение задержек, полученных в различных версиях синтезатора LeonardoSpectrum

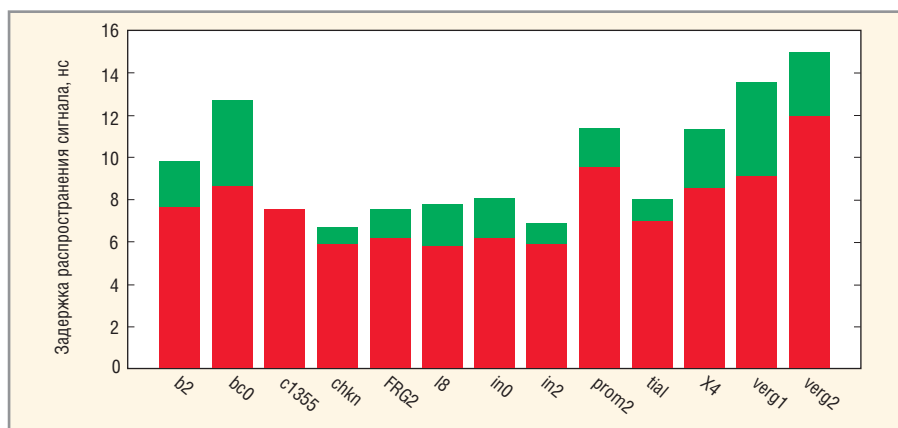


Рис. 3. Диаграмма уменьшения задержек в эксперименте 2, полученных в версии LeonardoSpectrum-2011

Проанализировав таблицу 2, можно сделать следующие выводы. Для версии L2006 выбор критерия оптимизации *Area* приводил к схеме меньшей площади, а выбор критерия *Delay* – к схеме с меньшей задержкой. Например, для первого примера b2 выбор режима *<Area, Standard>* позволил реализовать схему с площадью $S_{L2006} = 211588$ и задержкой $\tau_{L2006} = 11,10$ (см. первую строку таблицы 2). В режиме *<Delay, Quick>* результат уже другой: $S_{L2006} = 471711$ и $\tau_{L2006} = 6,53$ (см. вторую строку таблицы 2). Звёздочкой в первой

и второй строках отмечены меньшие значения площади и задержки. Для этого примера выбор режимов *<Delay, Standard>*, *<Delay, Remap>* и др. приводит к схемам с большей задержкой. Однако лучшее (по площади) решение для примера b2 обеспечила версия L2003, поэтому значение S_{L2003} отмечено звёздочкой и выделено жирным шрифтом для трёх версий. Наименьшее значение задержки для данной схемы обеспечила версия L2006, поэтому значение $\tau_{L2006} = 6,53$ выделено жирным шрифтом для трёх версий.

Для версий программы L2003, L2006 и L2011 критерий оптимизации *Auto* приводил к тем же результатам, что критерий *Area*, поэтому критерий *Auto* далее не упоминается.

Таким образом, версия L2003 позволяет получать схемы наименьшей площади при тех же режимах синтеза, что в версиях L2006 и L2011. Версия L2006 реализует схемы с наименьшей задержкой. Сравнения версий LeonardoSpectrum приведены на диаграммах: площади схем показаны на рисунке 1, задержки – на рисунке 2. Видно, что версия L2011 позволяет получать компромиссные схемы. Если же требуется реализовать схему с меньшей задержкой, то следует воспользоваться версией L2006, понимая при этом, что проигрыш по площади может быть весьма значительным.

Вернёмся к первому примеру b2 (см. табл. 2). Здесь версия L2006 позволяет уменьшить задержку до $\tau_{L2006} = 6,53$ нс и получить площадь $S_{L2006} = 471711$, версия L2011 позволяет уменьшить площадь до $S_{L2011} = 158801$ и получить задержку $\tau_{L2011} = 11,36$ нс.

Эксперимент 2 проводился с целью изучения эффективности повторного синтеза для уменьшения задержки схемы. Для этого в скрипт (см. листинг) перед командой *optimize* добавлена команда *set input2output 7.73*, устанавливающая требуемое значение задержки (т.е. 7,73 нс). Каждый раз оно устанавливалось на 10% меньше достигнутого, и синтез выполнялся снова. Однако на втором либо третьем проходе, как правило, уменьшение задержки не происходило, а увеличивалась площадь схемы.

Пользователь может устанавливать требуемое значение задержки, но программа часто синтезирует схему, задержка которой лишь приближена к желаемому значению. Для примера b2 площадь $S_{L2011} = 313892$, а задержка схемы составляет $\tau_{L2011} = 9,83$ нс. Требование уменьшения задержки до $\tau = 6,16$ нс привело к синтезу схемы с площадью $S_{L2011} = 414399$ и задержкой $\tau_{L2011} = 7,70$ нс. Таким образом, уменьшение задержки схемы на 27% увеличило её площадь на 25%. На рисунке 3 показана диаграмма уменьшения задержек схем в эксперименте 2 для версии L2011 (зелёным цветом отмечено относительное уменьшение задержки).

Таким образом, после последовательного выполнения двух требований уменьшения задержки получаемой схе-

мы на 10%, задержка исходной схемы снижалась примерно на 18%, при этом минимальное уменьшение задержки составляло 2%, а максимальное – 40%.

Следует отметить, что требование получения схемы с малой задержкой при проектировании в целевой библиотеке заказных СБИС часто вообще не может быть выполнено – схемные реализации с требуемыми характеристиками задержек просто не существуют, поэтому никакие ухищрения и варьирование параметров синтеза не помогают.

Эксперимент 3 был посвящён сравнению двух форм представления систем логических функций: дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ) и бинарных диаграмм решений (Binary Decision Diagram, BDD) [6]. На потоке из 62 практических примеров было установлено, что наиболее эффективной формой представления систем функций при синтезе схем из библиотечных элементов являются логические уравнения, соответствующие представлениям систем функций в виде BDD.

Диаграммы решений строятся на основе разложения Шеннона. Разложением Шеннона полностью определённой булевой (логической) функции $f(x_1, \dots, x_n)$ по переменной x_i называется представление $f(x_1, \dots, x_n)$ в виде:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \bar{x}_i f(x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n) \vee x_i f(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n). \quad (1)$$

Функции $f(x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n)$ и $f(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n)$ в (1) являются коэффициентами разложения, они получаются из функции $f(x_1, \dots, x_n)$ подстановкой вместо переменной x_i константы 0 или 1, соответственно. Диаграмма задаёт в виде графа последовательность разложений Шеннона исходной функции и получаемых коэффициентов разложения. Минимизация сложности BDD основана на том, что в процессе разложения системы функций могут появляться одинаковые коэффициенты разложения не только у одной, но и у нескольких (либо даже у всех) функций, входящих в систему. Выделение одинаковых подфункций (коэффициентов разложения) приводит к сокращению аппаратной сложности и, соответственно, площади схемы. Минимизация BDD осуществлялась с помощью программы TIE_BDD [7].

Приведём пример многоуровневого разложения, соответствующего BDD. Обозначим через $\langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \rangle$ первую из $n!$ перестановок перемен-

ных, по которой проведём разложение Шеннона для системы ДНФ функций:
 $f^1 = x_1 x_2 \bar{x}_4 x_5 \bar{x}_6 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6 \vee x_2 \bar{x}_3 x_5;$
 $f^2 = \bar{x}_1 \bar{x}_4 x_5 x_6 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_3 x_5 \vee x_1 x_2 x_3 x_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 x_4 \bar{x}_5 x_6;$
 $f^3 = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_6 \vee x_1 \bar{x}_2 x_4 x_6 \vee x_1 \bar{x}_3 x_4 x_6 \vee \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_4 x_5 \bar{x}_6 \vee x_1 \bar{x}_2 x_5 \vee x_2 \bar{x}_3 x_5.$

Построенные для данной системы функций коэффициенты разложения Шеннона дают следующее многоуровневое представление системы функций:
 $f^1 = \bar{x}_1 \psi^1 \vee x_1 \psi^2; f^2 = \bar{x}_1 \phi^2 \vee x_1 \psi^3;$
 $f^3 = \bar{x}_1 \psi^2 \vee x_1 \psi^4;$
 $\psi^1 = \bar{x}_2 \phi^1 \vee x_2 \phi^1; \psi^2 = x_2 \phi^2; \psi^3 = \bar{x}_2 s^1 \vee x_2 \phi^3;$
 $\psi^4 = \bar{x}_2 \phi^4 \vee x_2 \phi^5; \phi^1 = \bar{x}_3 s^2 \vee x_3 s^1;$
 $\phi^2 = \bar{x}_3 \lambda^3 \vee x_3 s^3; \phi^3 = x_3 \lambda^4; \phi^4 = \bar{x}_3 \lambda^2 \vee x_3 s^2;$
 $\phi^5 = \bar{x}_3 s^2; s^1 = x_4 \lambda^1; s^2 = \bar{x}_4 \lambda^3 \vee x_4 \lambda^2; s^3 = \bar{x}_4 \lambda^4;$
 $\lambda^1 = x_5 \omega^1; \lambda^2 = \bar{x}_5 \omega^1 \vee x_5; \lambda^3 = x_5; \lambda^4 = x_5 \omega^2;$
 $\omega^1 = x_6; \omega^2 = \bar{x}_6.$

Основной проблемой при построении многоуровневых представлений меньшей сложности является выбор перестановки переменных, которая приводит к возможно меньшему числу логических выражений приведённого выше вида. В экспериментах программа TIE_BDD строила BDD по 5000 случайно выбираемым перестановкам переменных и выбирала из рассмотренных вариантов диаграммы наименьшей сложности.

Эксперименты на практических примерах [2] комбинационных схем показали, что в подавляющем большинстве случаев (41 пример из 62) использование многоуровневых представлений вместо ДНФ позволяло синтезировать в версии L2011 схемы меньшей площади, чем по исходным описаниям функций, соответствующих ДНФ. Напомним, что при синтезе функциональные описания комбинационных схем в виде ДНФ и в виде разложений Шеннона были представлены на языке VHDL. Некоторая информация об алгоритмах оптимизации, применяемых синтезатором LeonardoSpectrum, содержится в [5, с. 122]. Таким образом, судя по результатам эксперимента 3, комбинационные схемы в библиотечном базисе лучше синтезировать по минимизированным BDD, а не по минимизированным системам ДНФ, представляющим логические функции.

Возможность уменьшения площади комбинационных схем имеется и при повторном синтезе описания, полученного с помощью команды *untar*. Такие эксперименты с повторным синтезом, выполнением команды *untar* и сменой целевых библиотек синтеза описаны в [8]. Стили кодирования (Encoding

Style) не имеют значения для комбинационной логики, однако для схем с триггерами они позволяют варьировать параметры площади и быстродействия. С другими управляющими параметрами синтеза LeonardoSpectrum можно ознакомиться в [1].

Выводы

На испытанном потоке проектов схем наилучшие решения по площади давала версия L2003, по задержке – версия L2006. Новые версии программы L2011 ориентированы на уменьшение площади схем, при этом задержки, естественно, увеличиваются. В версиях L2003 и L2006 установка критерия оптимизации «Delay» приводила к схемам с минимальной задержкой, однако для более поздних версий L2011 установка критерия «Delay» практически не влияла на получение схемы с меньшей задержкой; минимум задержки приходился на другие режимы, в основном, <Area, Standard>.

При общем совершенствовании программы LeonardoSpectrum в старых версиях синтезатора можно реализовать лучшие решения. Поэтому в ответственных случаях целесообразно выполнять синтез как в новых, так и в старых версиях программы, и выбирать лучшие решения по тому или иному критерию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Библио П.Н. Системы проектирования интегральных схем на основе языка VHDL. StateCAD, ModelSim, LeonardoSpectrum. СОЛОН-Пресс. 2005.
2. <http://www1.cs.columbia.edu/~cs4861/sis/espresso-examples/ex>.
3. http://opencores.org/project,8b10b_encdec,overview.
4. Библио П.Н., Кириенко Н.А. Оценка энергопотребления логических КМОП-схем по их переключательной активности. Микроэлектроника. № 1. 2012. С. 65–77.
5. LeonardoSpectrum User's Manual, Software Release 2011a. May 2011.
6. Кнут Д.Э. Искусство программирования. Том 4. А. Комбинаторные алгоритмы. Часть 1. ИД Вильямс. 2013.
7. Библио П.Н., Леончик П.В. Алгоритм построения диаграммы двоичного выбора для системы полностью определённых булевых функций. Управляющие системы и машины. № 6. 2009. С. 42–49.
8. Библио П.Н., Романов В.И. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний. Ленанд. 2014.



Новый метод расчёта параметров цифровых фильтров нижних частот

Николай Захаров (г. Лыткарино, Московская обл.)

Цифровые фильтры обрабатывают цифровые сигналы с целью выделения, подавления или коррекции определённых частот. Цифровые фильтры отличаются высокой точностью и стабильностью параметров, но полоса частот ограничена частотой дискретизации сигнала (трудно работать в режиме on-line с ВЧ-сигналами, так как вычисления должны быть завершены в течение периода дискретизации). Поиск путей совершенствования методов расчёта, проектирования и применения цифровых фильтров продолжается и сегодня. Автор знакомит читателей с новым методом расчёта параметров цифровых фильтров нижних частот и некоторой особенностью их использования.

ВВЕДЕНИЕ

Теория цифровой обработки сигналов и, в частности, цифровых фильтров (ЦФ), основанная на базе современной вычислительной техники и достижений классической математики, содержит обширный список литературы. Однако, несмотря на полученные впечатляющие результаты, нельзя сказать, что развитие этой теории завершено. Свидетельством этого является существование большого количества методов анализа и синтеза ЦФ [1–3]. Поэтому задача создания более простых методов при проектировании и эффективных при использовании ЦФ остаётся актуальной и в настоящее время.

Цифровые фильтры могут быть отнесены, говоря в общем, к категории чисто математических систем. Поэтому одни ЦФ имеют в качестве прототипов аналоговые фильтры, другие – не имеют. В общей теории систем для описания физических (и математических) процессов используются различные виды уравнений: интегро-дифференциальные, интегральные, дифференциальные – в обыкновенных и частных производных и алгебраические. В некоторых случаях существует непосредственная взаимосвязь между решениями, получаемыми из разных видов этих уравнений. Например, в публикации Вольтерра [2] имеется замечание о том, что решения интегро-дифференциальных уравнений могут быть получены из фундаментальных решений некоторых связанных с ними обыкновенных дифференциальных уравнений. Однако при анализе и синтезе систем

управления и их звеньев, а также цифровых и аналоговых фильтров, оказалось, что использование явных решений указанных выше уравнений, как нелинейных, так и линейных, является непродуктивным из-за трудности получения с помощью этих решений зависимостей, непосредственно связывающих процессы на входе и выходе систем. По этой причине для линейных уравнений были разработаны методы получения аналитических решений в виде операторной связи непосредственно между функциями, определяющими процессы на входе и выходе систем. Для этой цели были введены следующие понятия: передаточная функция, переходная и импульсная переходная функция, интеграл свёртки.

Рассмотрим наиболее простой оператор, представляющий собой математическое звено, описываемое линейным алгебраическим равенством:

$$y(t) = kx(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ и $y(t)$ – функции времени, характеризующие процессы соответственно на входе и выходе звена.

Сами эти функции не обязательно должны быть линейными, но определённые ограничения, связанные с их физической реализацией и требованиями, исходящими из математических методов преобразований, имеют место. Оператор в равенстве (1) является в данном случае просто численным коэффициентом, определяющим амплитудный характер искажения входной функции, проходящей в виде сигнала через рассматриваемое

звено. Другими примерами операторов могут служить операторы дифференцирования ($p = \frac{d}{dt}$) и интегрирования ($\frac{1}{p} = \int$). Совместно с алгебраическим оператором они образуют дифференциальный оператор, который, воздействуя на гармонический сигнал на входе звена, вызывает амплитудные и фазовые искажения. При этом интенсивность искажения амплитуд и фаз гармоник функционально зависит от частоты. Следует иметь в виду, что в одних случаях воздействие дифференциального оператора рассматривается как искажение сигнала, а в других – как положительное явление, позволяющее проводить необходимые преобразования сигналов. Следует также указать на особую важную роль, которую играют при анализе и синтезе систем гармонические сигналы, построенные на базе особого класса периодических тригонометрических функций – синуса и косинуса. При прохождении через линейные системы они не изменяют своей формы и обладают рядом уникальных свойств (гладкость, определяемая бесконечной дифференцируемостью, инвариантность при сдвиге, ограниченность диапазона значений, совместное представление обоих в единой комплексной экспоненте), которые позволяют им служить в качестве базовых элементов в структуре разложения периодических и непериодических функций. Эти тригонометрические функции, естественным периодом которых является полный угол (2π), могут быть периодически представлены и при любых других единицах измерения аргумента, если соблюдать кратность естественного периода и какого-либо иного, характеризующегося некоторым числом T .

Таким образом, обыкновенное дифференциальное уравнение вида

$$\sum_{n=0}^N a_n \frac{d^n y}{dt^n} = \sum_{m=0}^M b_m \frac{d^m x}{dt^m} \quad (2)$$

может быть представлено в следующей операторной форме:

$$\sum_{n=0}^N a_n p^n y(t) = \sum_{m=0}^M b_m p^m x(t). \quad (3)$$

Если к суммируемым функциям уравнения (2) применить интегральное преобразование Фурье или Лапласа [4], то вместо формальных операторов p в уравнении (3), указывающих на порядок производных, появятся множители в виде степенных функций от мнимого ($j\omega$) или комплексного ($s = c + j\omega$) аргумента. С помощью этих функций легко получить два многочлена, имеющих степени N и M ($N > M$), которые относятся, соответственно, к левой и правой частям уравнения (2). При делении многочленов – левого на правый – получаем дробно-рациональную функцию, которую в случае преобразования Фурье принято называть частотной функцией $F(j\omega)$, а в случае преобразования Лапласа – передаточной функцией $W(s)$. Заметим, что преобразование Лапласа позволяет расширить класс функций, к которым может быть применено интегральное преобразование. Функции этого расширенного класса принято называть оригиналами по причине того, что на них накладывается математическое ограничение: они должны быть равны нулю при отрицательных значениях своих аргументов. Причину этого легко уяснить, обратив внимание на неограниченный рост экспоненты с действительным положительным показателем степени. Поэтому преобразование Лапласа в большей степени представляет интерес для изучения переходных процессов, имеющих нулевое значение до появления возмущения. Заметим, что математический смысл интегральных преобразований можно уяснить путём сопоставления их с методом замены переменной интегрирования некоторой функцией другого аргумента, который применяется в интегральном исчислении. При интегральном преобразовании осуществляется переход от исходной функции к некоторой другой (желательно более простой) с помощью подходящей дополнительной функции с двумя аргументами, вводимой под знак интеграла. При этом важно, чтобы существовало обратное преобразование. Интеграл Лапласа имеет следующий вид:

$$Y(s) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-st} dt.$$

Следует заметить, что необходимо различать спектры относительных амплитуд гармоник в частотных и передаточных функциях и абсолютных величин амплитуд спектров в преобразованиях Фурье и Лапласа. Функ-

ции интегральных преобразований характеризуют спектральные плотности амплитуд гармонических составляющих воздействий на входе и соответствующих реакций на выходе систем, которые не являются реально существующими гармониками в преобразуемых функциях. Это чисто математические сущности, подобные, например, степенным или тригонометрическим функциям в соответствующих рядах. Физическая сущность возникает тогда, когда рассматриваются частотные или передаточные функции, характеризующие свойства систем. Заметим также, что решение интеграла Лапласа не представляет, говоря в общем, каких-либо существенных трудностей. Для дальнейшего изложения потребуются формулы преобразования Лапласа единичной ступенчатой функции с обычным и запаздывающим аргументами, которые имеют следующий вид:

$$L\{1[t]\} = \frac{1}{s}; \quad L\{1[t - \tau]\} = \frac{e^{-s\tau}}{s}. \quad (4)$$

Из приведённых формул видно, что запаздыванию функции во временной области соответствует умножение её изображения в частотной области на экспоненту $e^{-s\tau}$. Отметим ещё одно свойство преобразования Лапласа. Упомянутая выше дробно-рациональная функция, получившая название передаточной функции, позволяет по известному изображению входной функции системы получить изображение выходной функции согласно выражению:

$$Y(s) = W(s)X(s). \quad (5)$$

Применив в формуле (5) обратное преобразование Лапласа для функции $Y(s)$, получим временную функцию (реакцию) на выходе системы.

Рассмотрим теперь другой способ решения уравнений, используемых для описания систем, который позволяет с помощью формулы интеграла свёртки получать интегральную зависимость выходной функции системы от входной функции во временной области. Для уяснения понятия интеграла свёртки полезно ввести в рассмотрение интегральное уравнение Вольтерры первого рода, которое имеет следующий вид:

$$y(t) = \int_0^t k(t, \tau)x(\tau)d\tau. \quad (6)$$

В этом уравнении искомой функцией является $x(\tau)$. Вторая функция –

ядро $k(t, \tau)$, стоящая под знаком интеграла, полагается известной. Она характеризует свойства системы. Кроме того, функция в левой части равенства (6) также полагается известной. В работе Вольтерры [2] имеется замечание о том, что интегральные уравнения можно рассматривать в качестве предельного случая систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Понятно, что система таких уравнений может быть сведена к одному уравнению типа (2). В том случае, когда ядро является известной функцией запаздывающего аргумента и, кроме того, известна входная функция $x(\tau)$, то из уравнения (6) выводим формулу, получившую название интеграла свёртки:

$$y(t) = \int_0^t k(t - \tau)x(\tau)d\tau.$$

Отметим, что разностный (запаздывающий) аргумент для ядер интегральных уравнений первым ввёл в рассмотрение, согласно работам Вольтерры [2], Н.Я. Сонин в 1880 году. Было показано, что если аргументом ядра интегрального уравнения (6) является разность $(t - \tau)$, то его решение можно получить с помощью интегрального преобразования Лапласа. В преобразованном виде решение это принимает следующий вид:

$$X(s) = Y(s) / K(s). \quad (7)$$

Из сопоставления формул (5) и (7) видно, что решения уравнений (2) и (6) идентичны. В дальнейшем, при детальном изучении формулы свёртки, было доказано (теорема Бореля), что преобразование Лапласа от свёртки равно произведению изображений от подынтегральных функций $x(t)$ и $k(t)$ при условии, что они – оригиналы. Кроме того, с помощью преобразования Лапласа были получены и другие важные результаты для теории систем типа вход–выход. Если в качестве ядра свёртки использовать переходные функции или их производные (импульсные переходные функции), то имеют место равенства, получившие название интегралов Дюамеля. Приведём одно из этих равенств, необходимое в данном случае:

$$y(t) = x(t)b(0) + \int_0^t x(\tau)b'(t - \tau)d\tau.$$

Если учесть, что $b(0) = 0$ и сделать подстановку $b'(\tau)d\tau = db(\tau)$, то форму-

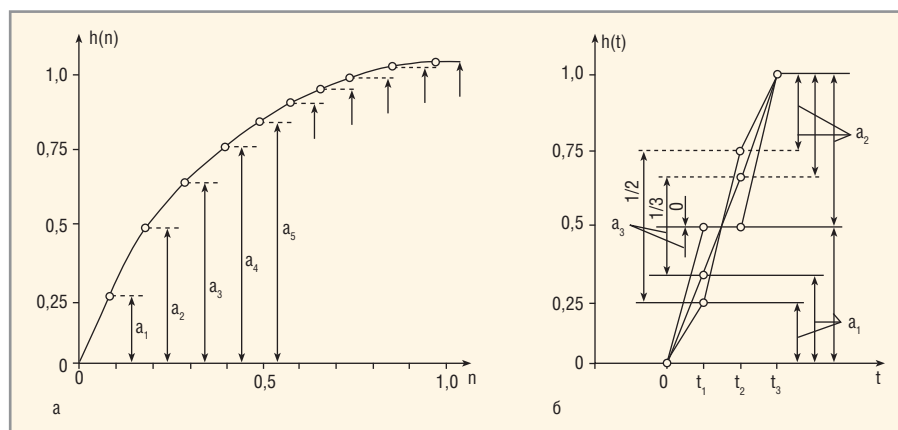


Рис. 1. Коэффициенты импульсной переходной функции соответствуют ординатам переходной функции, являющейся решением дифференциального уравнения (а), и произвольно заданным переходным функциям (б)

лу свёртки можно записать в следующем простом виде:

$$y(t) = \int_0^t x(t-\tau)db(\tau). \quad (8)$$

Отметим, что в подынтегральных функциях формулы (8) произведена взаимная замена аргументов на основании свойства симметрии свёртки.

Анализ структуры цифровых фильтров

Теперь, с учётом изложенных преобразований, легко сделать анализ структуры ЦФ. Очевидно, что они должны быть основаны на конечно-разностном описании систем с помощью уравнения типа (2) или формулы свёртки (8). При этом видно, что дифференциал ядра свёртки в формуле (8) будет порождать последовательность коэффициентов, равных приращениям переходной функции. Обозначая номера дискретных точек текущего непрерывного аргумента через i , номера дискретных точек запаздывающего аргумента через n и переходя с помощью численного интегрирования методом прямоугольников от интеграла свёртки к сумме линейной формы (свёрточной сумме), получаем:

$$y_i = \sum_n x_{i-n} \Delta b_n, \quad (9)$$

где $n = 1 \dots N$.

Заметим, что индекс относится к правой границе промежутка, а число равно числу промежутков (шагов), содержащихся в интервале длительности переходного процесса $b(t)$. Переходные процессы, получаемые путём аналитического решения дифференциального уравнения (2), имеют бесконечную длительность. При составлении импульсной переходной функции (ИПФ)

с помощью приращений переходной функции в дискретном виде будет получаться большое число коэффициентов. Однако понятно, что удаляться до бесконечности по оси абсцисс не потребуется, так как приращения будут уменьшаться, и при некоторых малых значениях их можно будет отбросить.

На рисунке 1а приведён пример получения коэффициентов ИПФ с помощью аналоговой переходной функции аperiodического звена. Существуют два способа сокращения количества коэффициентов ИПФ. Первый из них основан на алгоритмах численного решения дифференциального уравнения (2), получаемых путём перехода к разностному уравнению. Варианты этого способа будут рассмотрены далее, а сейчас рассмотрим второй способ.

Так как ЦФ представляет собой математическую систему, переходной процесс можно искусственно сократить, сделав его в виде ломаной линии (см. рис. 1б). Одна из переходных функций представлена на рисунке в виде прямой линии, имеющей изломы только в начале и в конце переходного процесса. Она порождает ИПФ с одинаковыми значениями коэффициентов. Такой ЦФ принято называть фильтром скользящего арифметического среднего. На этом же рисунке показаны другие переходные процессы, определяющие ИПФ с разными значениями коэффициентов.

Цифровые фильтры с коэффициентами ИПФ, получаемыми путём перехода к разностному уравнению (первый способ), принято называть ЦФ с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ), а вторым способом – с конечной импульсной характеристикой (КИХ). Далее будем различать ЦФ с чётным и нечётным числом коэффи-

циентов, а также, что более важно, по симметричности и асимметричности значений этих коэффициентов относительно центра образованной ими последовательности.

Новый метод расчёта симметричных нерекурсивных ЦФ

Перейдём к описанию алгоритма предлагаемого здесь нового метода расчёта симметричных нерекурсивных ЦФ. Суть этого метода состоит в циклическом расчёте частотных характеристик ЦФ по алгоритму, составленному для каскадной формы трёхточечных ЦФ [1, 3]. Такие ЦФ использованы здесь в качестве элементарных звеньев. Существуют два вида минимально-количественных ЦФ. Один из них – чётный. Он имеет два коэффициента: $\{a_1, a_2\}$. Второй – нечётный. Он имеет три коэффициента: $\{a_1, a_2, a_3\}$. Напомним, что $a_i = \Delta b_i = b_i - b_{i-1}$, где $i = 1 \dots N$. Минимально-количественные ЦФ важны потому, что их можно характеризовать только одним коэффициентом. Сумма всех коэффициентов ЦФ равна сумме приращений переходного процесса на единичное ступенчатое воздействие. Для двухточечных ЦФ имеем: $a_1 = 1 - a_2$. Для симметричных трёхточечных ЦФ имеет место равенство $a_1 = a_3$, поэтому они тоже однозначно определяются заданием только одного коэффициента. Например, если задать a_2 , то $a_1 = a_3 = (1 - a_2)/2$.

Симметричные ЦФ обладают весьма важными свойствами. Например, если входная функция задана таблично, то имеется возможность исключить искажение фаз гармоник, содержащихся в её спектре. В других случаях получается линейная зависимость фазовой характеристики от частоты, аналогичная зависимости звеньев транспортно-запаздывания равна $\tau_T = \frac{\Delta t(N-1)}{2}$. Отметим, что для двухточечных ЦФ существует только один вариант, при котором они могут быть симметричны, а именно: $a_1 = a_2 = 0,5$, из-за чего эти ЦФ используются редко. Что же касается трёхточечных ЦФ, то для них существует бесконечное множество вариантов, при которых $a_1 = a_3$.

На рисунке 2 приведены логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАХ) трёхточечных симметричных ЦФ, полученные при различных значениях a_2 . Острые пики ЛАХ, направленные вниз, соответствуют

логарифму ординат обычных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) ЦФ, близких к абсциссам их нулевых значений.

Абсциссы нулей АЧХ зависят только от a_2 , что видно на рисунке 2. При этом значение $a_2 = 0,5$ является предельным в том смысле, что при $a_2 > 0,5$ АЧХ вместо нуля имеет точку минимума с абсциссой, равной частоте $f_{\max}/2$, где $f_{\max} = \frac{1}{\Delta t}$. Эта частота является границей области наложения частот. Значение ординаты ЛАХ при $a_2 > 0,5$ зависит от величины a_2 . Гармоники, частоты которых принадлежат области наложения, дискретным способом не воспроизводятся – они как бы отсутствуют. Вместо них получаются гармоники с другими частотами, расположенными в области нижних частот ($f < f_{\max}/2$), в которую они переходят по правилу симметрии относительно граничной частоты. Это правило легко уяснить, если раскрыть дискретную структуру гармоник. Заметим, что нижние частоты области наложения, диапазон значений которых равен ширине полосы заграждения ЦФ, переходят по правилу симметрии в эту полосу и там подавляются. Следовательно, в полосу пропускаемых частот ЦФ могут переходить только те гармоники из области наложения, значения частот которых превышают интервал полосы заграждения. На рисунке 2 видно, что при уменьшении a_2 ноль АЧХ трёхточечного ЦФ перемещается влево и, одновременно, происходит нежелательный подъём правой ветви ЛАХ, которая при $a_2 = 0$ касается оси абсцисс. Дальнейшее уменьшение a_2 в сторону отрицательных его значений приводит к усилению высоких частот полосы заграждения ЦФ. Заметим, что это обстоятельство не является препятствием для синтеза ЦФ с более широкой полосой заграждения, чем получается при $a_2 = 0$ (ноль АЧХ на частоте $f_{\max}/4$). Левая граница полосы заграждения является величиной, задаваемой при проектировании ЦФ. Она определяется тем из входящих в каскад трёхточечных ЦФ, у которого a_2 имеет наименьшее значение по сравнению с остальными.

Выведем формулу, с помощью которой можно определить значение a_2 для заданного значения частоты. АЧХ на этой частоте должно быть равно нулю. С помощью формулы (9) запишем выражение для трёхточечного ЦФ в форме, удобной для дальнейшего анализа:

$$y_i = a_1 x_{i-1} + a_2 x_i + a_3 x_{i+1}.$$

Применим к этому равенству преобразование Лапласа с учётом положительных и отрицательных (опережающих и запаздывающих) сдвигов абсцисс входной функции:

$$Y(s) = a_1 X(s)e^{-s\Delta t} + a_2 X(s) + a_3 X(s)e^{s\Delta t}.$$

Из последнего равенства получаем передаточную функцию

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = a_1 e^{-s\Delta t} + a_2 + a_3 e^{s\Delta t},$$

от которой переходим к частотной характеристике, полагая $s = j\omega$ и используя одну из формул Эйлера для комплексных экспонент:

$$\begin{aligned} A(\omega) &= a_2 + (a_1 + a_3) \cos(\omega\Delta t) = \\ &= a_2 + (1 - a_2) \cos\left(\frac{2\pi f}{f_{\max}}\right). \end{aligned}$$

Из последнего равенства легко находим значение a_2 для случая, когда $A(\omega) = 0$:

$$a_2 = \frac{\cos\left(\frac{2\pi f}{f_{\max}}\right)}{\cos\left(\frac{2\pi f}{f_{\max}} - 1\right)} = \frac{\cos(2\pi w)}{\cos(2\pi w - 1)}. \quad (10)$$

По этой формуле можно получить значение a_2 для любого значения относительной частоты $\frac{f}{f_{\max}}$ (относительную частоту обозначим через w). Например, при $w = 0,5$ (это граница области наложения частот) имеем $\cos(\pi) = -1$ и поэтому $a_2 = 0,5$. Для другой характерной точки $w = 0,25$ имеем $\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$ и, следовательно, $a_2 = 0$. С помощью формулы (10) могут быть получены значения a_2 для любых других точек w из диапазона $(0...0,5)$.

Упорядоченное каскадное соединение трёхточечных ЦФ

Интерес представляет произвольный набор точек относительных частот, в которых ординаты АЧХ равны нулю, а такое их распределение, при котором суммарная ЛАХ каскадно-соединённых трёхточечных ЦФ будет иметь в полосе заграждения последовательность гребней, максимумы которых расположены на горизонтальной прямой линии.

В качестве первого приближения к такой ЛАХ рассмотрим случай разбиения отрезка оси относительных частот в полосе заграждения ЦФ на $(N - 1)$ частей, где N – число трёхточечных ЦФ. Отметим, что в этом случае трёхточечный ЦФ получит ноль АЧХ, совпадающий с границей наложения

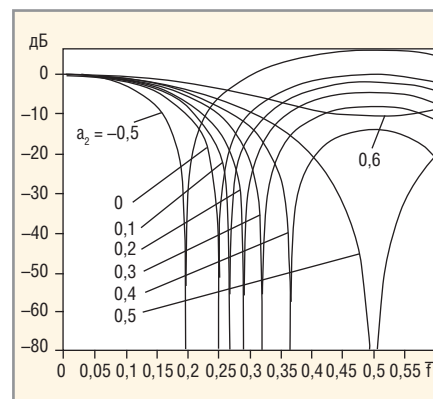


Рис. 2. Частотные характеристики симметричных трёхточечных цифровых фильтров при разных значениях среднего коэффициента a_2

частот. Для увеличения степени подавления частот желательно сдвинуть его влево (внутрь полосы заграждения) так, чтобы ордината правой ветви ЛАХ этого ЦФ, абсцисса которой совпадает с границей наложения, оказалась бы на горизонтальной линии максимумов гребней. С учётом этого сдвига шаг дискретизации по частоте можно определить по формуле:

$$dw = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{N - 0,5},$$

где $w_{\max} = 0,5$.

На рисунке 3а представлена ЛАХ каскада из девяти трёхточечных ЦФ, нули которой определены с помощью последовательного суммирования шагов по приведённой выше формуле: $w_i = w_{\min} + dw$. Из рисунка видно, что гребни ЛАХ расположены наклонно (отрицательный наклон). Этот «дефект» можно исправить, если воспользоваться следующей формулой разбиения оси относительных частот в полосе подавления:

$$w_i = w_{\min} + kn^m, \quad (11)$$

где n – порядковый номер трёхточечных ЦФ, а k – коэффициент, который вычисляется по формуле: $k = \frac{0,5 - w_{\min}}{(N - 0,5)^m}$. ЛАХ, представленная на рисунке 3б, рассчитана тоже для девяти коэффициентов a_2 , но они получены с использованием формулы (11) при $m = 1,4$ ($w_{\min} = 0,25$). С помощью небольшого изменения значения m можно получить ещё более точную горизонтальность расположения гребней ЛАХ. В общем случае при проектировании ЦФ значение этого коэффициента выбирается в зависимости от ширины полосы заграждения и количества каскадов.

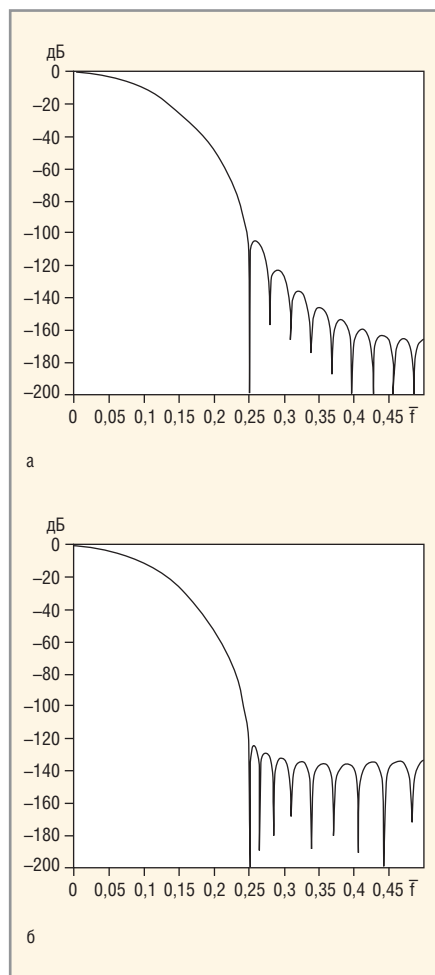


Рис. 3. Логарифмические амплитудно-частотные характеристики ЦФ с равномерным (а) и степенным (б) распределением нулей АЧХ

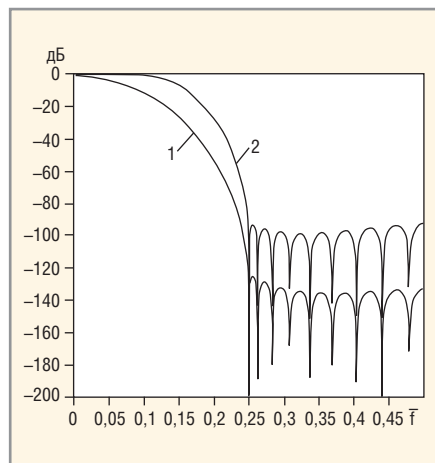


Рис. 4. ЛАХ каскада из 9 трёхточечных ЦФ без коррекции (1) и с коррекцией (2), используемой для увеличения крутизны переходной зоны

В листинге 1 представлен фрагмент программы расчёта ЛАХ на языке C++. При построении алгоритма этой программы используется формула частотной характеристики трёхточечного ЦФ:

$$A(\omega) = a_2 + (1 - a_2) \cos(\omega \Delta t).$$

На первый взгляд, ЦФ, получаемые из трёхточечных ЦФ в каскадной форме, удобны только для расчёта частотных характеристик при проектировании, но оказываются неудобными при использовании по назначению. Поэтому возникает необходимость преобразования их к одному многоточечному ЦФ. Так как сделать это вручную, например, с помощью калькулятора, весьма трудно, а при относительно большом числе каскадов вообще невозможно, то был разработан весьма компактный алгоритм реализации процедуры сворачивания каскадной формы, фрагмент программы которой представлен в листинге 2. Он иллюстрирует расчёт коэффициентов девятикаскадного ЦФ (для примера принято значение счётчика цикла $n = 1$, при котором происходит умножение пятиточечного ЦФ на трёхточечный ЦФ).

В основу алгоритма положена приведённая ниже система уравнений для вычисления коэффициентов многоточечных ЦФ. В соответствии с этой системой производится последовательное умножение получающихся результатов на очередной трёхточечный ЦФ. Результат, получающийся от умножения первых двух трёхточечных ЦФ – пятиточечный ЦФ, умножается на третий трёхточечный и так далее. Последний случай представлен в виде следующей системы равенств:

$$\begin{aligned} c_1 &= b_1 a_1 + 0 + 0; \\ c_2 &= b_1 a_2 + b_2 a_1 + 0; \\ c_3 &= b_1 a_3 + b_2 a_2 + b_3 a_1; \\ c_4 &= b_1 a_4 + b_2 a_3 + b_3 a_2; \\ c_5 &= b_1 a_5 + b_2 a_4 + b_3 a_3; \\ c_6 &= 0 + b_2 a_5 + b_3 a_4; \\ c_7 &= 0 + 0 + b_3 a_5. \end{aligned}$$

В соответствии с этой системой требуется суммировать по диагонали линейные формы, состоящие из трёх слагаемых.

После проведённых расчётов по этой программе стало видно, что при большом количестве коэффициентов многоточечных ЦФ требуется весьма высокая точность задания их значений, что можно получить только при большом числе разрядов в регистрах ЭВМ, иначе сумма всех коэффициентов будет существенно отличаться от единицы. Кроме того, возникает необходимость дополнять фильтруемую функцию нулевыми значениями за пределами начала и конца области её определе-

ния. Поэтому возникла необходимость снова обратиться к каскадной форме представления ЦФ с целью разработки алгоритма и программы, свободных от указанных недостатков, но таких, чтобы в них не требовалось вводить дополнительных массивов памяти, равных массиву фильтруемой функции. Такой алгоритм оказался весьма простым; фрагмент его программы представлен в листинге 3. Он иллюстрирует программу фильтрации табличной функции с помощью каскада из N трёхточечных ЦФ.

Порядок проектирования цифровых фильтров

При проектировании ЦФ вначале формулируются требования к желаемым характеристикам ЦФ, которыми он должен обладать. В этих требованиях указывают границу полосы пропускания частот, ширину переходной зоны, примыкающей к границе полосы задержания частот, и неравномерность частотной характеристики в пределах полос пропускания и задержания частот. Как видно на рисунках 3а и 3б, переходные зоны рассматриваемых ЦФ занимают значительную часть полосы пропускания частот. Для уменьшения этой зоны можно воспользоваться последовательно включаемыми корректирующими ЦФ, которые могут быть получены с помощью дифференцирующих звеньев двух следующих видов:

$$y = \tau \frac{dx}{dt} + x \text{ или } y = \tau^2 \frac{d^2x}{dt^2} + 2\xi\tau \frac{dx}{dt} + x. \quad (12)$$

Для перехода от аналоговой формы к дискретной и получения из формулы (12) коэффициентов корректирующих ЦФ воспользуемся аппроксимацией производных входной функции с помощью конечных разностей между её отсчётами:

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d^2x}{dt^2} \approx \frac{x_i - 2x_{i-1} - x_{i-2}}{\Delta t^2}. \quad (13)$$

С помощью подстановки формул (13) в уравнение (12) и простых преобразований легко получить коэффициенты корректирующих ЦФ и записать формулы этих двух ЦФ в следующем виде:

$$\begin{aligned} y_i &= (1 + \lambda)x_i - \lambda x_{i-1}; \\ y_i &= (1 + \lambda(\lambda + 2\xi))x_i - \\ &\quad - 2\lambda(\lambda + \xi)x_{i-1} + \lambda^2 x_{i-2}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{где } \lambda = \frac{\tau}{\Delta t}.$$

Очевидно, что корректирующие ЦФ не обладают симметрией. Поэтому результирующие ЦФ также станут асимметричными. Но отсутствие симметрии нельзя в данном случае считать недостатком, так как получаем желательное уменьшение фазового сдвига. На рисунке 4 показана ЛАХ девятикаскадного ЦФ (кривая 1) и ЛАХ, которая получена путём дополнения последовательным соединением двух ЦФ типа (14) к этому девятикаскадному ЦФ (кривая 2). Видно, что в переходной зоне кривая 2 имеет большую по сравнению с кривой 1 крутизну.

Формулы (13) используются также при построении на основе уравнения (2) рекурсивных ЦФ. В этом случае уравнение (2) второго порядка примет вид:

$$y_i = \frac{[x_i + 2\lambda(\lambda + \xi)y_{i-1} - \lambda^2 y_{i-2}]}{[1 + \lambda(\lambda + 2\xi)]}, \quad (15)$$

$$\text{где } \omega\Delta t = 2\pi w; w = \frac{f}{f_{\max}}; f_{\max} = \frac{1}{\Delta t}.$$

Для таблично заданных функций на входе ЦФ часто оказывается удобно использовать формулы расчёта коэффициентов ЦФ, выведенные при использовании не только запаздывающих, но и опережающих (по отношению к текущему) дискретных значений функции. Для этого вместо (13) используют формулы (16) и (17):

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)_i^+ + \left(\frac{dx}{dt} \right)_i^- \right] = \frac{x_i - x_{i-1}}{2\Delta t}, \quad (16)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} \approx \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)_i^+ - \left(\frac{dx}{dt} \right)_i^- \right] \frac{1}{\Delta t} = \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{\Delta t^2}, \quad (17)$$

$$\text{где } \left(\frac{dx}{dt} \right)_i^+ \approx \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t}; \left(\frac{dx}{dt} \right)_i^- \approx \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t}.$$

После необходимых преобразований уравнения (12) с помощью формул (15) и (16) получаем формулу (18) для ЦФ:

$$y_i = \lambda(\lambda - \xi)x_{i-1} + (1 - 2\lambda^2)x_i + \lambda(\lambda + \xi)x_{i+1}. \quad (18)$$

Для получения амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) применительно к последней формуле ЦФ используют следующие простые выражения:

$$A(\omega) = \sqrt{p^2 + q^2},$$

$$\text{где } p = 1 + 2\lambda^2[\cos(\omega\Delta t) - 1] \text{ и } q = 2\xi\lambda\sin(\omega\Delta t).$$

С помощью дифференцирующих ЦФ (14, 18), дополняемых к основно-

Листинг 1

```
//
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject * Sender)
{int i,n,N=9,imax=1000; double f,fmax=0.5,fmin=0.25,pi2=6.28318,k,
m=1.4,A=1,C,L, a2[]={0,0,0,0,0,0,0,0,0}; k=(fmax-fmin)/pow((N-0.5),m);
for(n=0; n<N; n++) { f=fmin+k*pow(n,m); C=cos(f*pi2); a2[n]=C/(C-1);}
//Цикл вычисления центральных коэффициентов трёхточечных ЦФ
for(i=0; i<imax; i++) { f=fmax*i/imax; C=cos(f*pi2);
//Цикл по дискретным значениям относительных частот из области опре-
деления АЧХ
for(n=0; n<N; n++) { A*=(a2[n]+(1-a2[n])*C); }
//Цикл вычисления произведения всех амплитуд АЧХ для каждой частоты
L=20*log10(fabs(A)); Chart1->Series[0]->AddXY(w,L); A=1;} }
//
```

Листинг 2

```
//
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{int i,n=0,m=0,N=8; double b1,b2,b3,a[100],B1[100],B2[100],B3[100]
,B[]={a2_1,[a2]_2,[a2]_3,...[a2]_8};
a[0]=(1-[a2]_0)/2; a[1]=[a2]_0; a[2]=a[0];
//Загрузка коэффициентов первого ЦФ в массив результатов расчёта
M: b1=(1-B[n])/2; b2=B[n]; b3=b1;
//Расчёт и загрузка коэффициентов очередного ЦФ по счётчику n+=1
for(i=0; i<m+5; i++) {B1[i]=0; B2[i]=0; B3[i]=0; a[m+5]=0;
//Обнуление столбцов B1, B2 и B3,
//так как в каждом из них имеются по две нулевых координаты (см. си-
стему равенств);
//обнуление a[m+5] для суммирования в цикле всех коэффициентов много-
точечного ЦФ
for(i=0; i<m+3; i++) {B1[i]=b1*a[i]; B2[i+1]=b2*a[i];
B3[i+2]=b3*a[i];}
//индексы координат столбцов образуют диагональ
for(i=0; i<m+5; i++) {a[i]=B1[i]+B2[i]+B3[i]; if(n>N-2)
a[m+5]+=a[i];}
//Сумма координат трёх столбцов, даёт 7 новых коэффициентов (m+5=7)
семиточечного ЦФ //Число 5 соответ. произв. нулевого и первого ЦФ при
m=0 (от каждого дополняемого трёхточечного ЦФ m увеличивается на 2)
n+=1; if(n<N) {m+=2; goto M;}
//Счётчики: n - для каскадов трёхточечных ЦФ, m - для коэффициентов
многоточечного ЦФ
for(i=0; i<m+6; i++) Memo1->Lines->Add("a["+IntToStr(i)+"]=" +FloatTo
Str(a[i]));
//Вывод на экран дисплея коэффициентов многоточечного ЦФ и их суммы
//
```

Листинг 3

```
//
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{int i,j,N,Na; double a,p,q,a2[ ]={0,1,...Na-1},m[ ]={0,1,...N-1};
for(j=0; j<Na; j++) {a=a2[j];
//Внешний цикл по количеству каскадов трёхточечных ЦФ
for(i=1; i<N; i++) {p=m[i-1]; if (i>1) m[i-1]=q; q=a*m[i]+0.5*(
1-a)*(p+m[i+1]); } }
//Внутренний цикл,
//охватывающий все дискретные точки области определения фильтруемой
функции m[i]}
//
```

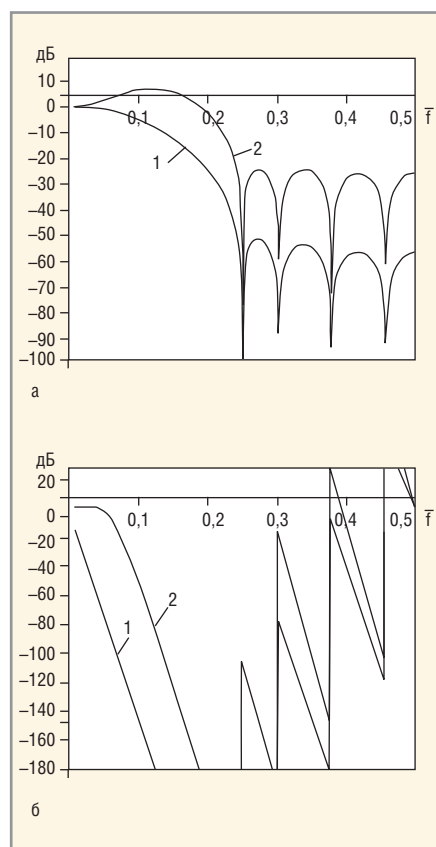


Рис. 5. Логарифмические амплитудно-частотная (а) и фазочастотная (б) характеристики ЦФ без коррекции (1) и с коррекцией (2) фазового сдвига

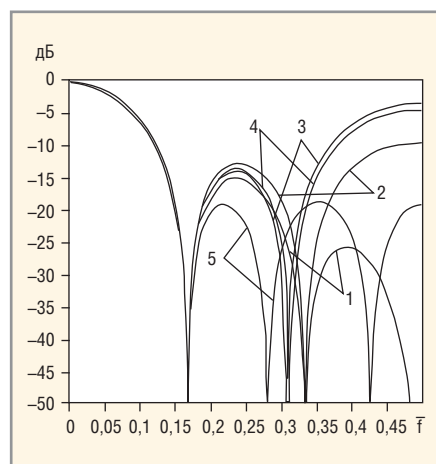


Рис. 6. ЛАХ ЦФ, полученных разными методами численного интегрирования функций:
1 – метод трапеций; 2 – метод Симпсона;
3 – метод Ньютона-Котеса; 4 – метод Уэддл;
5 – метод, обеспечивающий равномерность подавления частот в полосе заграждения

му нерекурсивному ЦФ, можно получить в результате ЦФ, в котором отсутствует в некотором диапазоне частот сдвиг фаз гармоник. На рисунке 5 видно, что дальнейшее расширение диапазона частот, в котором отсутствует сдвиг фаз, связано с допустимостью некоторого усиления частот в полосе пропускания.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦФ ДЛЯ АНАЛИЗА И КОРРЕКЦИИ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ

Интересно рассмотреть ещё одну сферу применения ЦФ, связанную с анализом и коррекцией методов численного интегрирования различных (в том числе табличных) функций. Формулы четырёх методов численного интегрирования функций – трапеций, Симпсона, Ньютона-Котеса, Уэддл и метод, обеспечивающий равномерность подавления частот в полосе заграждения (см. рис. 6, кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответственно), преобразованные к виду ЦФ, выглядят так:

$$1. \int_{x_0}^{x_6} f(x) dx \Rightarrow \frac{1}{6} (0,5y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + 0,5y_6);$$

$$2. \int_{x_0}^{x_6} f(x) dx \Rightarrow \frac{1}{18} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + y_6);$$

$$3. \int_{x_0}^{x_6} f(x) dx \Rightarrow \frac{1}{840} (41y_0 + 216y_1 + 27y_2 + 272y_3 + 27y_4 + 216y_5 + 41y_6);$$

$$4. \int_{x_0}^{x_6} f(x) dx \Rightarrow \frac{1}{20} (y_0 + 5y_1 + y_2 + 6y_3 + y_4 + 5y_5 + y_6);$$

$$5. \int_{x_0}^{x_6} f(x) dx \Rightarrow (0,1177y_0 + 0,1288y_1 + 0,1636y_2 + 0,1798y_3 + 0,1636y_4 + 0,1288y_5 + 0,1177y_6).$$

Построение методов численного интегрирования основано на аппроксимации подынтегральной функции полиномом некоторой степени, которая соответствует процессу сглаживания этой функции. ЦФ нижних частот тоже решает задачу сглаживания. Если произвести деление каждого из коэффициентов слагаемых правой части формул интегрирования на множители, стоящие перед скобками, и на сумму этих коэффициентов, то для каждого из методов получим новые коэффициенты, определяющие симметричные ЦФ.

На рисунке 6 представлены ЛАХ этих ЦФ. Видно, что только кривая 5 имеет три нуля АФХ в полосе заграждения частот. Третий ноль АФХ метода трапеций расположен на границе наложения частот. АФХ всех остальных методов вместо третьего нуля имеют минимумы, которые расположены на этой же границе (a_2 этих трёхточечных ЦФ больше 0,5). Первые нули всех АФХ – ближайшие к полосе пропускания частот – расположены на одной и той же частоте. Вторые нули АФХ

оказались разделёнными на три группы. Наименьшую частоту второго нуля имеет ЦФ с равномерным подавлением частот. Рядом (правее) расположены нули АФХ методов Ньютона-Котеса и Уэддл, а ещё правее – методов Симпсона и трапеций.

Вывод

Сравнивая ЛАХ метода трапеций и метода, определяемого кривой 5, имеющих наибольшую степень подавления частот, с ЛАХ остальных методов, и используя соответствующую оценку точности в книге [4], можно прийти к выводу, что точность метода численного интегрирования определяется не степенью подавления частот. Однако оценки в источнике [4] сделаны с использованием весьма гладкой функции. Поэтому можно предположить, что при численном интегрировании быстро отклоняющихся аналитических или зашумлённых табличных функций более предпочтительными могут оказаться методы, имеющие большую степень подавления частот.

Кроме того, естественно предположить, что для подынтегральных функций, в спектре которых высокие частоты имеют существенное значение, большая точность будет получена при применении методов, имеющих более короткие интервалы интегрирования. Трансформация методов с целью перехода к коротким интервалам интегрирования наиболее легко осуществляется в методах Симпсона и трапеций, а также в методе с равномерным подавлением частот. Отметим также, что метод с равномерным подавлением частот может быть использован в роли ЦФ с узкой полосой и высокой степенью подавления частот для предварительного сглаживания интегрируемой функции, а для последующего численного интегрирования предпочтение можно отдать методу Симпсона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отпенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. М. Связь. 1979.
2. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. М. Наука. 1982.
3. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. Справочник. М. Радио и связь. 1985.
4. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. М. Наука. 1967.



ДОЛОМАНТ
ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ОТВЕТСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

ВЕРНЫМ ПУТЕМ РАЗВИТИЯ — К УСПЕХУ ЗАКАЗЧИКОВ!

Открыт дополнительный прием заявок на производство в 2014-2015 гг.



В 2014 году завершен крупный этап модернизации:

- ★ **Умножены** мощности производственной базы по всем направлениям деятельности на основе самого современного оборудования
- ★ **Реализованы** меры жесткого контроля качества процессов и прослеживаемость циклов производства изделий

В первом квартале 2015 года запланировано введение в эксплуатацию дополнительной линии автоматизированного монтажа, а также современных программ управления производством

Постановка на серию и серийное производство / ОКР, макеты, адаптация документации и технологий / Тестирование, испытания, спецпроверки / Ответственное комплектование / Сервисная и технологическая поддержка

Приглашаем на наши семинары и в офисы компании (дизайн-центр, производство). Подробнее на сайте

Реклама

WWW.DOLOMANT.RU / +7 (495) 739 0775

Пусть будет свет!

Светодиоды и энергоэффективность

С 11 по 14 ноября 2014 года в Москве, в ЦВК «Экспоцентр» на Красной Пресне прошла 20-я юбилейная Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий Interlight Moscow powered by Light+Building 2014.

Выставка Interlight Moscow powered by Light+Building в очередной раз продемонстрировала полный спектр тем по освещению, электротехнике и системам автоматизации зданий. В экспозиции, занявшей площадь 30 000 м², приняло участие 731 компания из 24 стран. В ходе выставки было проведено более 50 мероприятий в рамках деловой, образовательной и бизнес-программы.

Экспозиция юбилейной выставки представила новейшие разработки ведущих российских и зарубежных компаний по восьми направлениям: техническое освещение, декоративное освещение, электрические лампы, светодиоды (LED), автоматизация зданий, электротехника, сервис и новая экспозиция – праздничное освещение.

Впервые возможность зарубежным и молодым российским компаниям презентовать свою продукцию выставка предоставила в 1995 году. В течение последующих 19 лет она развивалась, привлекая к участию лидирующие компании со всего мира, благодаря чему Interlight Moscow стало главным событием для профессионалов отрасли.

Расширенная экспозиция Interlight Moscow 2014 года собрала 29 878 специалистов в области светотехники, электротехники, автоматизации зданий, представителей оптовых и розничных торговых компаний, проек-

тировщиков, инженеров, девелоперов, строителей, инсталляторов, архитекторов внутренних пространств и дизайнеров.

Юбилейная выставка прошла при поддержке авторитетных российских и международных профессиональных ассоциаций и государственных структур – Министерства промышленности и торговли РФ, Торгово-промышленной палаты РФ, Роснано, Фонда Сколково, ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Некоммерческого партнерства производителей светодиодов и систем на их основе (НП ПСС), Ассоциации европейского бизнеса в России (АЕБ), Светотехнической торговой ассоциации, KNX Россия, KNX International, Союза московских архитекторов, Союза дизайнеров России, Московского государственного строительного университета (МГСУ), EnOcean Alliance, CABA, LonMark RUS, Ассоциации BIG-RU, «Лайтинг Бизнес Консалтинг». Впервые в 2014 году выставка Interlight Moscow powered by Light+Building получила поддержку со стороны LonMark International, Торгового отдела посольства Республики Корея (KOTRA) и Международной ассоциации светодизайнеров (IALD). Помимо ассоциаций выставка Interlight Moscow получила государственную поддержку Испании, Италии, Турции, Тайваня и Китая.



Традиционно выставка представила экспозицию German Area by Messe Frankfurt, на которой ведущие немецкие производители OSRAM Opto Semiconductors, Alanod, Wibre и Metalluk провели презентации своих последних разработок.

Италия представила продукцию технического света от лидирующих в этой сфере компаний Fael Luce, Sames, Mabelek и TCI. Традиционно не обошлось без итальянских производителей и в павильоне декоративного освещения.

Компании же из Тайваня привезли в Россию свою светодиодную продукцию.

Национальный павильон Турции представил новинки в области декоративного и технического освещения,



LED, электротехники и автоматизации зданий.

Европейский объединённый стенд представил продукции компаний из Европы в области автоматизации зданий и электротехники.

Национальная экспозиция Китая продемонстрировала последние разработки топовых китайских производителей в области светотехники, электротехники и автоматизации зданий.

Уже третий год подряд, при официальной поддержке KNX International, на выставке была организована объединённая экспозиция автоматизации зданий и умного дома – KNX city, которая объединила на своей площадке ведущие компании, работающие на комплексных системах автоматизации зданий, основанных на международном стандарте KNX. Во время выставки исполнительный директор ассоциации КОННЕКС Россия Андрей Головин провёл презентацию рабочей системы умного дома ETS5. Отдельного внимания заслуживает трёхдневный марафон, поддерживающий тематику автоматизации зданий и умного дома – Всероссийская олимпиада KNX, организованная Мессе Франкфурт РУС совместно с ФГБОУ ВПО «МГСУ», ОАО «РВК» и ассоциациями KNX International и KNX Россия. В рамках выставки мероприятие состоялось впервые и собрало более 40 специалистов. Участники соревновались в программировании в системе ETS-3 (Engineering Tool Software/Инструментальный программный пакет для инженерного обеспечения). Победителем стал Дмитрий Сенчук. Он справился с задачей за наименьшее время, допустив минимальное количество ошибок. Благодаря официальным партнёрам iRidium mobile, Schneider Electric, ABB и GIRA, премиальный фонд олимпиады составил более 500 000 рублей.

Юбилейная выставка также ознаменовалась открытием двух новых экспозиций. Организаторы запустили новый павильон, представивший весь спектр новейших разработок в области элек-

тротехники от ведущих российских и международных производителей, и павильон «Праздничное освещение».

В стенах павильона праздничного освещения при поддержке Союза дизайнеров России прошёл профессиональный конкурс «Улица новогодних витрин». Соорганизатором конкурса выступила Школа-студия дизайна Ольги Болкуновой. Генеральным партнёром выступила компания «СДС-Группа». Главная идея конкурса заключается в возможности дать молодым дизайнерам реализовать свои творческие задумки в области витринистики.

В 2014 году выставка Interlight Moscow powered by Light+Building как никогда ранее была насыщена научными и деловыми мероприятиями. Деловая программа традиционно представила LED Forum, Форум «Автоматизация зданий и энергоэффективность», круглые столы, открытые дискуссии и мастер-классы на конференц-площадке AGORA.

Крупнейшая конференция по светодиодным технологиям в освещении в России и Восточной Европе – LED Forum – прошла 12 ноября, и посетило её более 210 специалистов-представителей науки, бизнеса и прикладных сфер – из Европы, Азии, США и России. Впервые Форум прошёл при поддержке Торгового отдела посольства Республики Корея (KOTRA). В рамках мероприятия состоялись прямые переговоры с шестью компаниями – ведущими LED-производителями Южной Кореи, заинтересованными в российских бизнес-партнёрах для разработки, производства, дистрибуции LED-продукции, а также для реализации LED-проектов и открытия совместных предприятий в России. LED Forum завершился подписанием соглашения о сотрудничестве с выставкой LED Expo. Премиальным партнёром форума стала компания Osram Opto Semiconductors, а официальным партнёром бизнес-сессии – компания Rainbow Electronics. Партнёрами форума выступили компании



Директор по продажам Viribright Lighting Limited Крис Джонсон (Великобритания):

«Для нас выставка прошла очень хорошо. Мы познакомились с большим количеством импортёров и новых дилеров, которые заинтересовались нашей продукцией. Обычно во время выставок мы не подписываем контракты, потому что заинтересованы в долгосрочном серьёзном сотрудничестве, но мы уже проработали предварительные договорённости с импортёрами. На данный момент российский рынок кажется нам очень перспективным. На выставке мы встретили новых для себя людей, и, представьте, – они уже продают нашу продукцию. Мы делаем продукцию очень высокого качества, в строгом соответствии с Европейскими стандартами, что несколько влияет на цену. Но у нас сложилось впечатление, что русские как раз предпочитают высококачественную продукцию, так что рынок у нас здесь есть».



Philips и Forest Lighting. Форум получил официальную поддержку ОАО «Роснано», ВНИСИ им. С.И. Вавилова и Фонда Сколково.

В этом году международный форум «Автоматизация зданий и энергоэффективность» прошёл уже в третий раз. Главной его темой стала «Энергоэффективность в коммерческой недвижимости – как и почему это может случиться в России». Представители ведущих международных разработчиков систем автоматизации, девелоперы и инвесторы делились опытом внедрения технологий при проектировании коммерческой недвижимости нового поколения в России.

Впервые в рамках Форума состоялась серия прямых B2B-встреч с крупнейшими компаниями в области автоматизации зданий – «Альфа Лаваль Поток», AERECO, Байер АГ, Бейкер и Макензи, БСХ Бош унд Сименс Хаусгерете ГмбХ, Легран, Линдаб Билдингс, CMS, Сен-Гобен, ФЕНИЧЕ РУС, Шнайдер Электрик и ЭКОТИМ. Серебряным партнёром Форума стала компания «Экономпоставка», а соорганизатором – Ассоциация европейского бизнеса в России (АЕВ). По окончании Форума его стратегический партнёр ОАО «СИТИ», управляющая компания ММДЦ «Москва-Сити», провёл ознакомительную экскурсию по тер-

ритории делового комплекса «Империя». Делегаты форума посетили технические этажи здания, узнали об особенностях инженерных коммуникаций и поднялись на смотровую площадку на 58-м этаже.

Среди традиционных мероприятий выставки был также конкурс «Российский светодизайн – 2014», направленный на продвижение разработок и инноваций в области светотехники. Приз за лучший светоприбор достался светодиодному светильнику от компании MW Light, а призёром студенческого проекта стала Анна Хрусталёва из Национального института дизайна. Впервые в 2014 году конкурс поддержала международная ассоциация светодизайнеров IALD. В состав международного жюри вошли представители ВНИСИ им. С.И. Вавилова и Союза дизайнеров России. Председателем жюри выступил представитель международной ассоциации IALD Андреас Шульц.

Конференц-площадка AGORA организуется на выставке уже во второй раз. В этом году она представила насыщенный график ежедневных конференций, семинаров, мастер-классов, круглых столов, презентаций и образовательных мероприятий для молодых специалистов. Мероприятия AGORA были доступны всем участникам и посетите-

лям выставки Interlight Moscow powered by Light+Building абсолютно бесплатно в течение всех дней работы выставки. Партнёром AGORA стала компания «Световые технологии».

На конференц-площадке AGORA ежегодный участник выставки и деловой программы – НП ПСС – организовал дискуссионное ралли. Организаторы представили три 40-минутные сессии по темам отраслевых НИОКР, качеству и достоверности сертификации и открытый семинар по обучению построению системы продаж светодиодной продукции.

В рамках выставки, помимо традиционных мероприятий деловой программы, были представлены и новые события – интернет-форум «Электротехника и светотехника в интернет-торговле: из офлайна в онлайн», форум «Светотехника: нормы, стандарты, измерительное оборудование» и HR Форум, посвящённый светотехническому образованию (в партнёрстве с рекрутинговой компанией G-Nius).

Благодаря возрастающему интересу к нормам и стандартам в светотехнической области компания Messe Франкфурт РУС совместно с ВНИСИ им. С.И. Вавилова и «Лайтинг Бизнес Консалтинг» в партнёрстве с BL Group провели форум «Светотехника: нормы, стандарты, измерительное оборудова-

Директор по продвижению BL Trade Глеб Щербаков (Россия):

«Наш стенд в этом году был переполнен: постоянный поток партнёров и посетителей. Мы проделали большую работу в этом году, чтобы пригласить к себе на стенд представителей и отрасли, и бизнеса, и органов власти. Благодаря этой подготовке мы получили более сбалансированный состав посетителей. В этом году мы представили на выставке беспрецедентное количество новинок, включая ряд изделий, созданных разработчиками из европейского офиса BL Group, и ряд новинок, разработанных нашими собственными конструкторами. Эти разработки обладают серьёзными преимуществами. Чтобы получить реакцию на наши новинки, мы проводили опрос посетителей – российских и европейских светотехников, архитекторов, проектировщиков осветительного оборудования, а также наших клиентов, партнёров и дилеров. Эта практика поможет нам получить обратную связь и будет способствовать развитию дальнейших разработок. Также наша компания приняла участие в открытой дискуссии Светотехнической торговой ассоциации, посвящённой светодиодам в освещении, которая получилась очень откровенной и профессиональной, без купюр».

Исполнительный директор Ассоциации KNX Россия Андрей Головин:

«Мы довольны участием, несмотря на то что стенд стоял не в самом проходном месте, посетителей было не меньше, чем в 2013 году. Хочется отметить, что уровень организации мероприятий в рамках деловой программы выставки стал выше – интереснее, мобильнее, быстрее. Всё весьма по-европейски, что демонстрирует связь выставки российской с главной выставкой Light + Building во Франкфурте. Этот формат обязательно надо сохранить в следующем 2015 году. Отрадно, что все события выставки и она сама активно освещались в СМИ и социальных сетях – последнее весьма современно. Очень удачное решение! Всё делалось на высоком профессиональном уровне, и эффект от этого обязательно проявится в ближайшее время».

ние». На мероприятии были затронуты актуальные темы отрасли: «Светотехнические стандарты в РФ: актуальное состояние и планы развития», «Современное измерительное оборудование для испытательных лабораторий» и «Аккредитация лабораторий в РФ».

С недавнего времени светотехнические и электротехнические изделия стали частью ассортимента интернет-магазинов, и их доля в продажах начала быстро расти, но традиционные каналы продаж (офлайн-торговля) всё ещё остаются доминирующими. Интернет-торговля – перспективный канал дистрибуции светотехнических и электротехнических изделий, в связи с этим компания Messe Франкфурт Рус и Лайтинг Бизнес Консалтинг организова-

ли интернет-форум «Электротехника и светотехника в интернет-торговле: из офлайна в онлайн».

Также в юбилейный год выставки была подготовлена специализированная программа для дизайнеров – ежедневные семинары и мастер-классы по светодизайну, интерьерному и архитектурному освещению, которые проходили на новой для выставки конференц-площадке Interlight Design Academy. Модератором и соорганизатором Interlight Design Academy 2014 стал руководитель школы светодизайна LiDS Сергей Сизый. На Interlight Design Academy состоялся также мастер-класс немецкого светодизайнера Андреаса Шульца, представителя Международной ассоциации светодизайнеров

и генерального директора Licht Kunst Licht AG (IALD). Андреас поделился с присутствующими кейсами реализации уникальных световых решений и дал советы по использованию светодиодов в сложных проектах, где требуется тонкая работа.

Благодаря большой экспозиции и обширной деловой программе выставка Interlight Moscow powered by Light + Building заслуженно считается ведущим профессиональным событием в России и странах СНГ. Мероприятие относится к семье выставок Light+Building, которые проводятся компанией Messe Frankfurt GmbH. Главная выставка Light + Building пройдёт с 13 по 18 марта 2016 года во Франкфурте-на-Майне (Германия).



Robotics Expo 2014 – 3 дня незабываемых впечатлений

В дни с 27 по 29 ноября в КВЦ «Сокольники» состоялась крупнейшая российская выставка робототехники и передовых технологий Robotics Expo 2014, организованная компанией Smile-Expo.

ROBOTICS EXPO

Robotics Expo 2014 объединило в себе выставку, конференцию, площадку Speed Dealing для стартапов и инвесторов, открытый лекторий, соревнования коптеров – Hot Copter Challenge, мастер-классы для детей. В вечернее время в течение двух дней (28–29 ноября) на главной сцене проходило Robotics Show, в котором участвовали роботы-танцоры и актёры. Главными хедлайнерами шоу-программы стали робот RoyMegan и проект STREKOZA.

Выставка

Экспозиция выставки делилась на несколько направлений: андроидные роботы, образовательная робототехника, промышленные роботы, квадрокоптеры, бытовая робототехника, 3D-печать, дополненная и виртуальная реальность.

Более 50 компаний демонстрировали свои инновационные продукты и услуги: Robot Control Technologies, ГИДЭП, BIT Robotics, «Теледроид», Wicron, «Брейн Девелопмент», Promobot, Robomow, Robohunter, NOBOT.SU, Copter Express, Karlsson Project, Copter Zone, «Гениальный кот», PAOP, R.BOT, Kb3Robotics, NDRobotics, «СТЛ», Med Gadgets, Fibrum, «Фаблаб НИТУ «МИСиС», «Навирибот», AlexRobotics и др.



Особое внимание в этом году организаторы уделили промышленной робототехнике.

Проект Robot Control Technologies представил метаязыки управления на примере роботов KUKA. BIT Robotics представила промышленного дельта-робота, который играл в шашки с посетителями выставки, а компания ГИДЭП – разработку программируемого гидроэлектронного привода для робототехники.

Интерактивным гидом по выставочному пространству стал говорящий гуманоидный робот по имени Furo-D от компании Навирибот.

Никого не оставили равнодушными роботы-манекены от компаний Kb3Robotics, роботы телеприсутствия от R.BOT, шлем виртуальной реальности Fibrum, робот NAO от компании «Теледроид», особо актуальный в преддверии зимы робот-снегоборщик от Promobot, робот-туалет



для котиков CAT Genie, а также робот InMoov, полностью распечатанный на 3D-принтере.

Зона квадрокоптеров была представлена такими компаниями, как Copter Express, Karlsson Project, Copter Zone, которые продемонстрировали захватывающие возможности летательных аппаратов. Много любопытствующих собрал стенд компании 3Dquality, знакомившей гостей выставки с 3D-продукцией, а также предлагавшей всем желающим протестировать 3D-ручку.

КОНФЕРЕНЦИЯ

II Международная конференция по робототехнике Robotics Conference, которая проходила в первые два дня выставки (27 и 28 ноября), включала в себя 24 эксклюзивных доклада и 2 круглых стола.

В первый день на Robotics Conference можно было прослушать доклады таких специалистов, как: Олег Купервассер, Григорий Школьников (KUKA Robotics), Антон Джораев (NVIDIA), Станислав Берелавичус (ФГБУ Институт хирургии им. А.В. Вишневского, МРА Medical Partners), Константин Яковлев (Институт системного анализа Российской академии наук), Михаил Тюлькин (Robot Control Technologies), Самити Миттал (RoboGalaxy, Индия) и др.

Особый акцент в первый день конференции был сделан на применении робототехники в автомобильной промышленности, медицине и образовании.

Во второй день конференции выступили: Валерия Комиссарова (Grishin Robotics), Вячеслав Кравцов (RBOT), Роман Жуков (Wicron), Александр Словак (MathWorks), Татьяна Шагова (PICASO 3D), Аркадий Ющенко (МГТУ имени Н.Э. Баумана), Мария Тучина/Ольга Ёлкина (Общественное движение «Россия 2045») и др.

Круглый стол второго дня на тему «Мечтают ли предприниматели о роботах-андроидах?», организованный совместно с робототехническим центром «Сколково», объединил представителей венчурных фондов, исследователей, предпринимателей и преподавателей для обсуждения насущных вопросов отрасли.

SPEED DEALING

Секция Speed Dealing, которая состоялась 27 ноября, собрала для бизнес-встреч разработчиков роботов и инве-



Павел Кривокубов, National Instruments



Григорий Школьников, KUKA Robotics



Олег Купервассер



Константин Яковлев, ИСА РАН



сторов. В течение целого дня в формате «быстрых свиданий» стартапы и разработчики-робототехники могли презентовать свои проекты и общаться с инвесторами тет-а-тет.

В числе приглашённых инвесторов были: Денис Козьминых (Star2UP Inc.), Юрий Лисов (Boomstarter), Александр Казачек (iTech Capital), Арсений Даббах (RMG Partners) и Николай Ковшов (QWave).

Подводя итоги 2-й ежегодной выставки робототехники и передовых технологий Robotics Expo, можно сказать, что робототехника – одна из самых перспективных и важных отраслей, которая определит ход развития человечества на многие годы. Задача российских учёных и производителей – как можно скорее принять эти изменения и включиться в данный процесс.

www.robot-ex.ru

Лев Данилов

Пётр Новыш (Санкт-Петербург)

В наше вусмерть политизированное время пафос не моден, и, как правило, неприятен. В Песне о Соколе великого пролетарского писателя тепловлаголюбие Ужа куда более привлекательно, чем пижонская спесь, вплоть до ломания собственных перьев, да и самой жизни его оппонента. Это – понятно. И всё же...

Говорят, что последняя волна репрессий была в тридцать седьмом. А вот моего родного отца, Троицкого Георгия Николаевича, забрали в сорок первом, когда ему было двадцать шесть лет, а мне – один год. Можно понять прекрасное классовое чутьё: ну не мог быть «нашим» человек, владевший четырьмя европейскими языками, кандидат технических наук, автор только что вышедшей большим тиражом книги в 300 страниц с подозрительным названием «Свойства чугуна». Да ещё у него был пунктик: не имея на то никаких особых разрешений, носился со своим изобретением нового нотного письма, и всё это при том, что в родне его никак не пахло зачётным пролетарским происхождением: все мужчины поголовно были ведущими инженерами-строителями, причём последних из них забрали уже в тридцать седьмом.

И вот мне – случайно единственно недобитому последышу этой семьи – повезло. Я остался. Даже вырос и выучился на инженера. И сегодня согласен с человеком из совершенно дру-

гой стаи – артистической – мудрецом и поэтом Леонидом Филатовым: «Не могу похвастаться, что мне что-то запретили или в чём-то меня ущемили большевики. Потом уже... были какие-то ожоги. Но это ерунда... не всё ведь штучки были в лицо... Была всё же некая идиллия по-советски...» (Леонид Филатов. «АиФ». № 5. 284. 1999 г.).

В «Ящике» или, как позже его стали называть, ВНИИМР (Мощного Радиостроения), куда я был распределён в 1965 году после окончания ЛИАПа, такая идиллия определённо была и созидалась она группой фанатиков-работоголиков. Их упорство, самопожертвование и амбиции были чисты и притягательны: они рождали самую передовую умопомрачительно изощрённую и дорогую технику того времени – сердцевину ускорителей заряженных частиц и локационных станций, включая уникальные, крупнейшие в мире. Это было чертовски интересно – настоящая мужская игра с полной выкладкой сил. Боготворимые мной ведущие разработчики считали нормой работать по двенадцать часов в день при шестидневной рабочей неделе. Все они были удивительно самодостаточны и материально бескорыстны, одеты бедно, часто неряшливо, но бытовая нищета их как-то совершенно не тяготила. Моему обожаемому наставнику Виктору Васильевичу Екимову казалось смешным, что, кроме работы, можно иметь в жизни ещё и какое-то хобби.

На этих людей я смотрел с завистью и восторгом. И мне, молодому специалисту, очень хотелось найти среди них своего научного шефа. Но судьба распорядилась иначе. Я так и не смог пристроиться к чьей-нибудь толковой научной школе. Может, немалую роль в этом сыграла моя ершистость, необоснованно большое свободолюбие, да и грешное нежелание заниматься рутинным трудом.

Поэтому, наверно, решив, что меня все равно не исправишь, начальство стало мне давать небольшие самостоятельные работы, преимущественно исследовательские. Разумеется, я их вёл не один, но всегда получалось, что, вне зависимости от административной структуры, в них так или иначе оказывался неформальный лидером. Это требовало постоянного напряжения. Целыми днями я пребывал погружённым в технические идеи, полюбил вкус научных исследований, непрерывным потоком стал писать технические статьи и заявки на предполагаемые изобретения: благо всё было новым.

Для моего самоутверждения казалось значительным, что однажды мою фотографию вывесили на доску почёта с подписью «Лучший изобретатель института». Из творческого стресса я не выходил даже тогда, когда бежал в туалет. Доброжелательные коллеги мою заикленность с пониманием поощряли улыбкой. Каждое утро я шёл пешком на работу от площади Льва Толстого до Одиннадцатой линии Васильевского острова, и это время было для меня самым творческим и блаженным. Мозг работал чисто, с полной отдачей, «таков мой организм...». С соисполнителями у меня всегда были хорошие дружеские отношения, особенно со старшими по возрасту инженерами-практиками, незабвенными моими товарищами, кристально доброжелательными идеалистами – Павловой Тamarой Борисовной и Калина Леонидом Антоновичем. Руководству старался – насколько хватало ума – особо не перечить. Наверное, в моей жизни это время было не самым производительным, но зато самым прекрасным: молодость, плюс, как говорят в технике, работа на согласованную нагрузку!

Хотя, если попытаться быть предельно откровенным, до меня иногда со стороны доходили и сентенции вроде того, что вот мы, мол, работаем не покладая рук, кровью харкаем, а этот гад изобретательством занимается. В какой-то степени это имело место быть тоже.

И, может быть, не без связи с этими настроениями, лет через десять, когда не только из газет стало ясно, что роль партии в коммунистическом строитель-



Доктор технических наук, профессор кафедры ТОЭ Ленинградского электротехнического института (ЛЭТИ) – Лев Владимирович Данилов. 1937–1988 гг.

стве усилилась, у меня не обошлось и без вышеназванных ожогов. Например, официальное лицо в долгой беседе указало мне, что я неверно понимаю роль отдельных съездов Партии. То обстоятельство, что я не собираюсь вступать в эти «глухие согласные = КПСС», не имело существенного значения... Опять же, употребляю политически негативное слово «конвергенция», не понимая его значения. Наконец, дело дошло до того, что в моей аттестационной характеристике, подписанной «треугольником», кроме унифицированной части в один лист, которая для всех писалась чуть ли не под трафарет, появилась нестандартная запись, где указывалось, что я «недостаточно активен в профсоюзной деятельности». В вольном переводе с новояза это означало, что если и дальше буду такой же стервец, то на последующей аттестации влепят негатив более высокого уровня, например, что-нибудь в том смысле, что личное ставлю выше общественного, то есть получу отрицательную характеристику, при которой окажется сомнительной сама возможность профессиональной деятельности. Подобные прецеденты с моими знакомыми уже случались.

До войны в подобной ситуации наиболее мудрые люди исчезали на несколько лет, уезжая из Ленинграда в провинцию, и там отсиживались. Но я, слава Богу, уже жил в дни чуть ли не цивилизованного «развитого социализма», хотя по злобно-вражескому и «реального». Зубки чутко сточились. Нашим тогда уже казалось неприличным без разбора не только уничтожать, но даже и, смешно сказать, сажать людей, поэтому мне, во избежание всех грядущих неприятностей, вполне достаточно было просто сменить место работы. Что я быстренько и сделал, тем более что из-за ограниченности средств на медицину моя бетатронно-медицинская тематика по борьбе с раком на неопределённое время замораживалась. И я стал дальше продолжать заниматься своей любимой рекуперацией энергии в индуктивных нагрузках и формированием мощных импульсов, но уже в другой, более военной, а потому более богатой конторе, но за ту же нищенскую, но, безусловно, равную другим зарплату. Работал, пока не оформил всё, что напридумывал, в кандидатскую диссертацию.

И опять мне повезло: один из четырёх учёных советов страны по профилю диссертации находился как раз

в Ленинграде. И ещё раз повезло, что в его составе было несколько светлых голов, а сам он был носителем необычного для того времени либерального духа: даже внешне импонировала для того времени крайне дерзкая джинсовая одежда его остепенённой молодёжи. В Совете была, кажется, только одна женщина, но именно она-то и была его председателем и, безусловно, заслуженным лидером. Этакая пожилая, железная, самоуверенная, непробиваемая леди, во время разговора искусно играющая своей вставной челюстью...

Изюминкой диссертации, на мой взгляд, был материал главы 1.1.

В этой главе я ввёл ряд понятий и определений, с помощью которых далее формулировал, как мне казалось, новое положение – теорему о существовании определённой области нелинейных параметрических электрических цепей, в которой выполняется принцип суперпозиции во временном интервале с переключением вентиля типа диодов и тиристоров. На основании этого утверждения в последующих разделах производился анализ ряда устройств с рекуперацией энергии, в частности, мощных импульсных генераторов тока эжекции электронов для медицинских бетатронов.

Материал главы был не ахти какой инженерной важности, но в кандидатской диссертации виделся еретическим ввиду своего покушения на незыблемость устоявшихся теоретических основ электротехники. Поэтому доброжелательно ко мне относившийся трудяга и опытный интриган диссертационных дел секретарь Учёного совета, на котором я собирался защищаться, настойчиво рекомендовал мне во избежание разнообразнейших неприятностей и инфаркта не дразнить гусей и выкинуть к чёртовой матери не только эту главу 1.1, но, по возможности, не включать теорему даже в приложение. Тем более что для защиты и так материала с лихвой хватало.

Но я был молод и эстетические представления, замешанные на честолубии, никак не позволяли сдаться – выбросить главу, поскольку я видел, что такое изъятие нарушит стройность материала, да и снизит корректность анализа. Мне по молодости казалось: согласусь – перестану себя уважать.

Диссертация готова, но из-за наличия главы 1.1 меня несколько месяцев подряд не ставят в очередь на защиту: Совет принимает только заведомо про-

ходные работы. Моя – ни в какую! Наконец после долгих препираний секретарь из жалости ко мне выставил ультиматум: диссертация будет принята к защите с главой лишь при условии, что я найду авторитетного оппонента, который даст на теорему безусловное положительный отзыв.

До этого материал диссертации апробировался лишь на уровне описания нескольких десятков изобретений, а также ряда журнальных статей и немногочисленных выступлений на конференциях, особенно, помнится, посвящённых почему-то Дню радио.

Я выступал на секциях бурно развивающейся электропреобразовательной техники. В связи с изобретением мощных полупроводниковых ключей у этого направления было бесчисленное множество молодых гибких неустановившихся ветвей. Изменение на порядок тока, напряжения, скважности импульсов или частоты их следования полностью меняло структуру преобразовательных устройств и, соответственно, характер технических проблем.

Сплошь и рядом ни на одной конференции не находилось специалистов, которые могли бы компетентно прокомментировать выступление коллеги. Пожимали плечами. Верили на слово. Моим выступлениям обычно предшествовал пассаж ведущего, вроде: «...а вот ещё о не менее своеобразном направлении ... сообщит нам молодой специалист...». Рад был, если завязывалась дискуссия, но чаще слышал лишь формальные замечания коллег...

На Совете мне дали перечень номенклатурных научных авторитетов, которым был смысл показать материал. Для этого я отпечатал рукопись в пяти экземплярах и затем её навязывал несколько месяцев не менее чем двадцати персонам из указанного списка номенклатуры на предмет возможного отзыва на теорему.

И тут я познал неизвестную для меня сторону околонучности: эти, в основном пожилые, люди, безусловно, были специалистами в своей области, задёрганными интеллектуалами с умными усталыми глазами старой добродородной собаки и, разумеется, резко отличались от массово наплодившихся к тому времени обиженных Богом мухомороподобных партийствующих начальников. Своим видом эти интеллектуалы демонстрировали готовность к нормированному кванту самопожертвования незнакомому молодому специ-

алисту. Но, видно, жизнь их поставила раком. Все они, как один, с тоской смотрели на принесённый мной материал, причём, непостижимо для меня, их совершенно не интересовала его суть, и живо допытывались только одного – от кого я, откровенно намекая о своём желании в дальнейшем понять от этого имярека дивиденды. Когда они осознали, что я вовсе даже ни от кого, а просто сам написал диссертацию «в процессе плановых работ на государственных предприятиях», хотя и имею формально научного руководителя, им становилось совсем тошно, но, очевидно из боязни нанести ущерб своему номенклатурному имиджу, все же брали материал на просмотр. Обобщённое статистическое распределение резюме этих специалистов на материале главы сведено в таблицу:

Не компетентен в этих вопросах	25%
Не буду в твои дела вмешиваться	25%
Положение верно и широко известно	25%
Положение не верно: чушь собачья	25%

Ни один из них толком не разобрался в сути предложения, не сделал ни одного компетентного замечания и уж тем более не дал желанного заключения о том, что положение справедливо и обладает новизной.

С этими печальными результатами, но ещё не до конца сломленный я приполз к секретарю. Буркнув что-то в том духе, что не выдывал хлестче меня дуболомов, он ультимативно мне дал последний шанс: на кафедру Теоретических основ электротехники ЛЭТИ из долгой командировки вернулся молодой профессор Лев Данилов. Он специалист по нелинейным цепям, и его заключение поставит окончательную точку на моём упрямстве.

Тут я осознал, что это тот самый Данилов, который, также как и я, когда-то работал во ВНИИМР и даже, может быть, мы работали там когда-то одновременно. Даже нашёл фотографию 13 × 18, где мы с ним почти одного возраста, на субботнике, в одинаковых кедах тащим вдвоём, гружёные грунтом носилки. Вообще-то я с ним знаком не был и, возможно, никогда даже не разговаривал, но слышал о нём следующую легенду.

Однажды в лабораторию, где он трудился, пришло Высокое Начальство. Все, естественно, расселись за рабочие столы и стали энергично демонстрировать усердие. А Данилов как ходил, так

и продолжал задумчиво ходить между столами. Начальство выразило ему своё неудовольствие: мол, все работают, а Вы тут прохаживаетесь! Он ответил, что думает. Тогда Начальство ему заявило, что если и дальше вместо работы он будет думать, его просто уволят. Любопытно отметить, что именно в те времена он разрабатывал новый вид математики, приложения которой позволили существенно расширить представления учёных о ряде законов теоретической электротехники. Но «наши» его все-таки почему-то тогда не достали, а он «по корыстным мотивам» сам перешёл в ЛЭТИ, где очень быстро защитил последовательно кандидатскую, а затем и докторскую диссертации, и стал там самым молодым доктором наук.

И вот я на кафедре Теоретических основ электротехники в ЛЭТИ. Удивило, что Данилов назначил свидание с точностью до одной минуты, а не как другие – плюс-минус полдня. Но я приперся, как водится, на час раньше. Обратил внимание, что почтовые письменные ящики на кафедре полупустые, и лишь один переполнен и завален доверху – профессора Данилова. Почти всё, что можно было различить – на английском. Сотрудники не без гордости пояснили, что это в порядке вещей: Данилов – специалист мирового уровня. Меня это шокировало: получение даже одного письма из-за бугра казалось тогда бедствием, чреватое отстранением от Допуска. Тем более что должность профессора в таком институте предполагала обязательный отчёт по каждому контакту с Западом. Мне до сих пор не понятно, как он, чисто технически, мог осилить такую массу оправдательных бумаг.

Но вот пришёл профессор Данилов. Удивительно вежливый и мягкий. Почувствовав слабость, я тут же, заикаясь, стал упрашивать забрать Главу на просмотр. Но, к моему ужасу, он достаточно решительно это отверг, хотя и согласился тут же при мне просмотреть материал. Я был убеждён в печальном исходе: сижу рядом, как умная Маша, и наблюдаю. За те десять лет, что я его не видел, он заматерел. Глаза мудреца, и в процессе чтения на его лице я не смог выявить ни тени эмоций – нулевая лабильность. И тут, совершенно неуместно, я стал вспоминать – какого же близкого человека он мне напоминает? Но так и не смог понять. Он читал около десяти минут. После этого минуты две-три думал, а затем

выпалил мне резюме, что мол – всё верно, для него такой подход нов и даже интересен. Я не верил своим ушам и не смог сдержать слезы, хотя всё ещё сомневался – всё ли он усёк. Но в последующей беседе тут же убедился – ещё как усёк, на все 100%, в подтверждение чего он выдал мне несколько ценнейших рекомендаций по подаче материала и терминологии. И тут я, пьяный от счастья, совсем обнаглел, спросил его, во-первых, не подскажет ли он форму дедуктивного обоснования сформулированной теоремы и, во-вторых, (миловать, так миловать!) – не согласится ли быть и официальным оппонентом на защите диссертации. Тогда он, чуть подумав, взял клочок бумаги (который я поныне храню как святую реликвию) и тут же набросал форму корректного подхода в общепринятых категориях. Боже, как я жалел тогда, что не прихватил с собой карманного магнитофона, чтобы не упустить какого-нибудь штриха его суждений. Потрясла совершенно необычайная сила мысли, лаконизм и точность изложения, да ещё с предельно вежливой адаптацией к моей терминологии. А возможность своего оппонирования он обусловил двумя обстоятельствами. «Какими же? – не терпелось мне. – Я на всё согласен!».

И тут он ответил царским изыском: первое – рассмотренный материал должен присутствовать в диссертации, и второе – его результаты должны быть практически использованы в ней при анализе схемных решений. О, Боже! Ведь именно это полностью совпадало с моей *idée fixe*, диаметрально противоречащей прагматизму носителей здравого смысла!

Вся наша беседа заняла, наверное, полчаса, и эти полчаса были едва ли не самыми счастливыми и содержательными в моей жизни.

И вот, полностью согласившись с остальными рекомендациями Совета, я форсировано подправил и ужал диссертацию до нормированных полутора страниц, отпечатал её и прошёл кучу злополучных бюрократических терний оформления.

По мере подготовки к защите доброжелатели предупреждали меня об опасном, необычно жёстком стиле оппонирования Данилова: даже в оптимистичном случае вначале он жестоко валял в грязи, но затем сам же отмывал, срывал старые одежды, одевал новые и, наконец, выводил на новую широкую, но лишь ему ведомую дорогу, благослов-

ляя на дальнейшие дерзания. Интеллектуалы толпой ходили на его оппонирование докторских диссертаций, как на изысканное театральное действо.

И вот принёс я уже завершённую диссертацию на отзыв к Данилову – теперь уже моему первому официальному оппоненту. В отличие от других, он и в этот раз не взял материал с собой, а тут же при мне в течение часа пролистал и сразу же написал отзыв. Объём его был сравнительно невелик, но, как оказалось, в нём содержались по значимости более важные замечания, чем в остальных, порядка двадцати, официальных отзывах. К моему удивлению, отзыв был написан необычайно образно, несколько игриво и содержал весьма глубокие замечания, также и по разделам, никак не связанным с Теоремой. Непостижимо – как ему удалось заметить ряд шероховатостей в выводе сложнейших, на мой взгляд, совершенно нечитабельных аналитических выражений. Все замечания были сделаны в предельно вежливой, благожелательной форме. И опять я был поражён его уникальным талантом и тактом, никак не соразмерными с окружающей «совковой» щедростью и благородством.

В третий раз я увидел Данилова уже на защите. После моего основного выступления председатель-женщина с вежливой безразмерной китайской улыбкой меня поправила: «В своём докладе, наверно, Вы оговорились, ведь в Вашем случае квазилинейность выполняется лишь в интервалах между переключением вентилей. Припёртый к стенке, я искал максимально вежливый ответ, но ничего не придумал, кроме хамски-дерзкого:

– Нет, это тривиально. Речь идёт как раз об интервалах, содержащих эти переключения.

– Как? Неужели Вы не знаете, что так не бывает?

– В некоторых параметрических цепях – бывает! И это доказано в главе 1.1.

– Нет, не бывает!

После такой бессодержательно злой перепалки «бывает – не бывает», которая, как мне показалось, продолжалась, не менее минуты, наступило тягостное молчание: дама, подобно вытасченной на берег рыболовом, сорвавшейся с блесны щуки, судорожно хватала воздух ртом и выпученными покрасневшими глазами искала подставившего её секретаря, а я, молясь, чтобы не упасть в обморок, – Данилова.

В тот момент, когда я увидел его в своей обычной буддийской непроницаемой погружённости в себя, секретарь вдруг проявился и достаточно громко пробурчал: «Да – бывает, бывает!». «Кто первый оппонент?! – Зло рыкнула она. – Ах, Данилов!». И, резко смягчившись: «Тогда, пока, продолжайте!». Я очухался, ответил на ряд уже явно не кровожадных ординарных вопросов. И вот дают слово первому оппоненту. Данилов, вопреки его традиции, не стал нагнетать: самолюбие его было уже удовлетворено, наоборот он сразу же стал разгребать, но выступление своё построил, как всегда, с блестящим изыском. Смысл его в том, что вот, мол, диссертант по молодости и неопытности не может объяснить многоуважаемому коллеге-профессору несколько простых вещей, из которых становится ясным, что он в своей диссертации все-

го лишь предложил... И опять куча блестящих отточенных пассажей, позволивших всем более-менее понять суть и сохранить лицо в этой, казалось бы, патовой ситуации.

Дальше мне всё понравилось: у публики было на редкость много искреннего интереса к самым разным, в первую очередь инженерным, аспектам. Я был в ударе и получил от защиты долгожданное истинное удовлетворение. Защитился без чёрных шаров, хотя лично не был знаком ни с одним из членов Совета.

Благодарности мои Данилов принял равнодушно. От банкета отказался. Я мечтал поделиться с ним несколькими новыми своими идеями и, как минимум, чуть пообщаться, но явно был ему не интересен. Сейчас – знаю: у него было тогда всепоглощающее хобби – решение некоторых задач из фундаментальной математики в области царицы наук – теории чисел. Он экономил время.

И вот однажды я понял, что лицом он удивительно похож на моего отца, которого я знал лишь по чудом уцелевшим фотографиям. И с тех пор их образы для меня почти не различимы и слиты в одно целое: когда я хотел представить в памяти отца, он возникал непременно в образе Данилова. Такая вот странная сублимация! Отец дал мне жизнь. Данилов, по-отечески, – защитил от цинизма и, вероятно, жизненной трагедии.

Умер Данилов преждевременно, трагично, не без ожогов со стороны «наших». Его близкие считают – «номенклатура переломила ему хребет». Во все времена гениальным людям редко дают долго жить... Печально! ☹

Новости мира News of the World Новости мира

Медпром, новая химия и биотех

9 декабря 2014 г. состоялось совещание по продвижению и реализации Региональной программы развития медицинской, био- и химической промышленности Москвы на 2015–2021 гг., а также по формированию Регионального инновационного кластера Москвы «Медпром, новая химия и биотех».

В обсуждении приняли участие ректоры МГУ им. М.В. Ломоносова Виктор Садовничий, МГТУ им. Н.Э. Баумана Анатолий Александров, Первого МГМУ им. И.М. Сеченова – Пётр Глыбочко, заместитель генерального директора РКНПК Ренат Акчуринов, а также представитель НИИ СП им. Н.В. Склифосовского – доктор химических наук Марк Гольдин.

Ключевой темой встречи представителей ведущих научно-образовательных, медицинских и исследовательских университетов и организаций, задействованных в развитии отечественной медицины, химической и биопромышленности, стал вопрос об объединении усилий для решения вопроса импортозамещения на основе разработки прорывных инновационных продуктов и технологии для развития отраслей.

Концепцию Региональной программы развития медицинской, био- и химической промышленности в городе Москве на 2015–2021 гг. и формат работы кластера «Медицинская промышленность, новая химия и биотех» представил собравшимся

директор Межотраслевого инженерингового центра МГТУ им. Н.Э. Баумана Владимир Нелюб: «Анализ рынка медицинской продукции показывает, что около 80% общего объёма продукции завозится из-за рубежа. При этом главная проблема российской медицинской промышленности – дефицит новейших технологий и отечественных продуктов, высокий уровень износа мощностей и низкий уровень инвестиций в НИОКР. Объединив усилия в рамках кластерной региональной кооперации, мы сможем создать уникальный центр компетенций, способный вывести отечественную химическую и медицинскую отрасль на новый уровень развития».

<http://emtc.ru>

Об импортозамещении электронной САПР

В течение последних лет в области разработки радиоэлектронных модулей на базе печатных плат происходят существенные изменения, как в части роста диапазона схемных рабочих частот, так и в части применения сложных, многовыводных и программируемых компонентов (микросхем).

Сложившаяся тенденция настоятельно требует создания современных систем автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных компонентов и устройств, позволяющих реализовать проекты, адекватно отвечающих новым требованиям с помощью специальных процедур размещения компонентов на поле печатных плат, трассировки соединений, формирования экранных слоёв, дифференциальных пар и реализации многих других этапов проектирования. Для схем с повышенными рабочими частотами возникает необходимость как предтрассировочного компьютерного анализа схемных решений, так и посттрассировочного анализа геометрии сформированных трасс (в смысле анализа целостности сигналов и взаимных помех между проложенными на плате трассами).

Весьма существенным является решение вопросов, связанных с выпуском комплектов документации в электронном виде, что требует, помимо разработки специального программного обеспечения, выработку унифицированных требований к составу и виду конструкторской документации на электронные модули, разработку доступных электронных баз данных по электронным компонентам в доступных разработчикам унифицированных форматах и т.п.

В настоящее время в РФ отсутствуют отечественные САПР электронных модулей на базе печатных плат, позволяющие успешно решать задачи проектирования печатных плат. Для этого широко используются зарубежные САПР и, как правило, их нелегальные версии, которые помимо значительного количества имеющихся ошибок не содержат многих компонентов, существующих в лицензионных версиях. Программные же модули формирования и выпуска КД совершенно не соответствуют требованиям отечественных ГОСТ. Следует отметить недопустимо высокие финансовые затраты на приобретение новых зарубежных САПР данного класса, тем более что фирмы-

разработчики таких САПР практикуют необоснованный выпуск новых версий, информационно несовместимых с предыдущими. Делается это с единственной целью понуждения пользователей к дополнительным финансовым затратам. Следует отметить также отсутствие пользовательской документации на эти САПР на русском языке, а также отсутствие эффективной техподдержки при их эксплуатации.

К сожалению, масштабная разработка САПР печатных плат, которая проводилась кооперацией на ряде предприятий СССР, с началом перестройки практически прекратилась. Причина – массовые увольнения практикующих в этой области программистов. Приобретение же импортных САПР электронных модулей требует весьма значительных затрат. Так, цена САПР Altium Designer, к которой вынужденно проявляют большой интерес специалисты по проектированию печатных плат, составляет около 330 тысяч рублей, при этом фирма уже объявила о повышении цены в ближайшее время на 20–30%. Цена САПР Allegro фирмы Cadence Design System Inc составляет около 3 млн рублей, а САПР Mentor Graphics Inc – и того дороже.

Значительные объёмы работ в направлении автоматизации важных аспектов проектной деятельности в данном научном направлении были продолжены российскими энтузиастами. В частности, эффективные наработки были достигнуты коллективами под руководством С.Ю. Лузина (фирма «Эремекс» в Санкт-Петербурге – САПР Toror) и Ю.М. Ёлшина (ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» – САПР ГРИФ-4). Эти разработки велись несколько последних лет по взаимным соглашениям для синхронизации этапов их разработки в рабочем порядке. Поэтому их функциональная ориентация является взаимно дополняющей, а не дублирующей. Технический уровень этих разработок практически не уступает известным зарубежным САПР электронной ориентации, а по некоторым аспектам превосходит их. Авторы

этих разработок не сомневаются, что организационное и техническое объединение этих программных комплексов в единый программный комплекс проектирования электронных модулей позволит (при незначительных доработках) создать пилотный вариант отечественной САПР в срок не более полугода. Она явится реальным импортозамещающим продуктом в данной отрасли уже с середины 2015 года. Цена такой САПР на первом этапе составит не более 50 тысяч рублей. Одновременно целесообразно произвести всероссийское совещание с целью ознакомления с соответствующими наработками других коллективов и отдельных специалистов и привлечения их к участию в дальнейшей модернизации новой САПР. По имеющейся неполной информации, потребность в САПР электронной ориентации только в организациях ОПК составляет десятки тысяч экземпляров.

В связи с изложенным выше представляется целесообразным и необходимым срочное создание отечественной САПР, удовлетворяющей потребностям многих российских предприятий. Дальнейшее развитие пилотной САПР возможна посредством разумной кооперации с использованием имеющихся разрозненных программных наработок, рассматриваемых как элементы возможной законченной системы.

Результаты этих работ позволят в кратчайшие сроки выйти на современный уровень проектно-конструкторских разработок широкого спектра цифро-аналоговых ячеек и печатных плат различного назначения. Внедрение системы позволит унифицировать состав, содержание и формат комплектов электронной КД на предприятиях ОПК. При этом появятся предпосылки для обновления устаревших ГОСТ с целью организации реального электронного документооборота.

Представляется, что соответствующие правительственные организации отнесутся с должным вниманием к изложенному выше мнению и назначат руководителя разработки отечественной САПР электронных модулей на базе печатных плат (на первом этапе – в рамках научно-исследовательской работы) при наличии соответствующего финансирования.

Начальник отдела САПР

ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей», к.т.н., с.н.с.

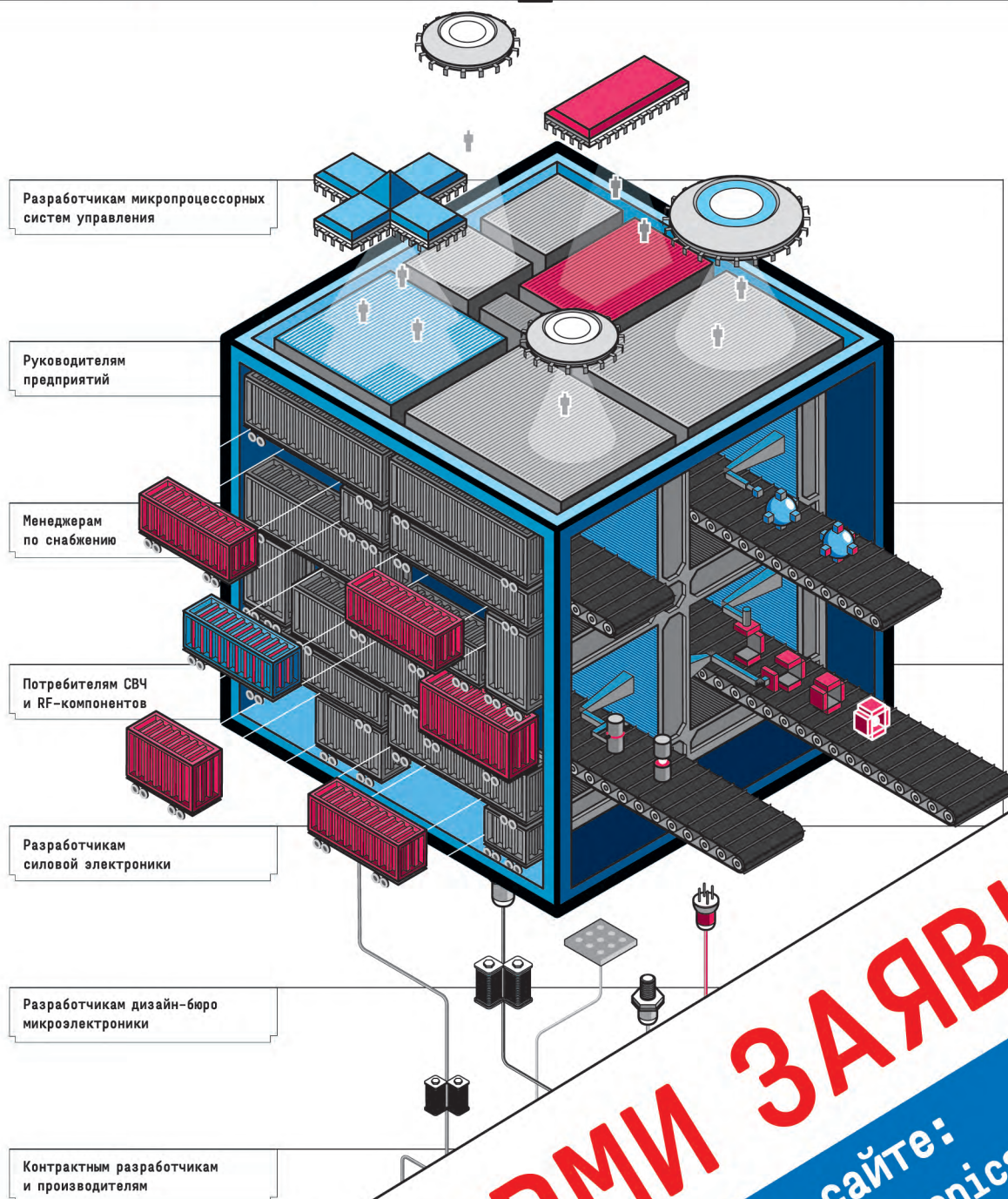
Юрий Михайлович Ёлшин

НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА / РОССИЯ

24–26 МАРТА 2015

МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР
НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ

главная российская выставка электронных компонентов и модулей



ОФОРМИ ЗАЯВКУ
на сайте:
www.new-electronics.info

Новый взгляд на Фемтоамперметр/Петаомметр



ДОСТОВЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА ОТ $0,01 \times 10^{-15}$ А И СОПРОТИВЛЕНИЯ ДО 10×10^{15} Ом

Измерители Keysight серии B2980A имеют широкие функциональные возможности, которые обеспечивают уверенность в результатах измерений и способствуют лучшему пониманию происходящих процессов. Благодаря встроенной аккумуляторной батарее, позволяющей устранить влияние шумов сети переменного тока, можно обнаружить и измерить реальные сигналы, которые раньше были невидимы. Функция построения гистограмм в режиме реального времени и возможность отображения сигналов во временной области позволит вам не пропустить критически важные нюансы поведения сигнала. Программа контроля состояния схемы упрощает выявление неисправностей. Воспользуйтесь возможностями самого точного в мире фемтоамперметра/петаомметра с графическим интерфейсом для повышения достоверности измерений.

HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = INSIGHTS

Посмотрите видеоролик
www.keysight.com/find/b2980a_info



8 800 500 9286 (звонок по России бесплатный)

Просканируйте код, чтобы посмотреть видеоролик

© Keysight Technologies, Inc. 2014

Фемтоамперметр/Петаомметр Keysight серии B2980A

Режим работы от аккумуляторной батареи: есть

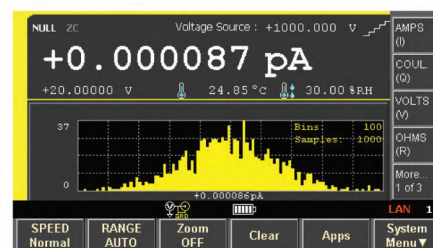
Функция построения гистограмм в режиме реального времени и представление сигналов во временной области

Измерение силы тока: от 0,01 фА до 20 мА

Измерение сопротивления: до 10 ПОм

Встроенный источник напряжения: до ± 1000 В

Скорость измерений: до 20 000 отсчетов/с



Режим построения гистограммы для детального отображения сигнала

KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

Unlocking Measurement Insights

Реклама

Группа электронных измерений Agilent – теперь Keysight Technologies