

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

5

2019

**Передача данных в сетях IoT
и их реализация в LoRaWAN**

**НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ
РОССИЙСКИХ НАСК БРЭО**

**ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ
ПОЛОСОВЫЕ ФИЛЬТРЫ**

**УМЗЧ НА БАЗЕ ИУ
И МОЩНЫХ ОУ**

**ПРИМЕНЕНИЕ DTM
ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ РАСЧЁТОВ
BGA, LGA И PGA**

**ВНУТРИСХЕМНОЕ
ИЗМЕРЕНИЕ ДРОССЕЛЕЙ
И ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**РОССИЯ – РОДИНА
ЭЛЕКТРОННОГО
ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

и многое другое...



App Store



Google Play





Свобода проектирования



В состав Delta Design, обеспечивающей сквозной цикл проектирования печатных плат, входят модули:

- Менеджер библиотек
- Схемотехнический редактор
- Схемотехническое моделирование
- HDL-симулятор
- Редактор правил
- Редактор печатных плат
- Топологический редактор плат TopoR
- Коллективная работа для предприятий

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ становятся предсказуемыми!

физических процессов

Эксперты в моделировании

МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Тепловой анализ
- Обеспечение целостности питания и сигналов высокоскоростных интерфейсов DDR, PCIe, USB, HDMI, SFP+
- Электромагнитная совместимость (ЭМС)
- Прочностные расчеты

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

- Разработка схемотехники для приборов:
 - ответственного применения;
 - промышленного назначения;
 - общего и коммерческого использования.
- Проектирование топологии печатных плат
- Разработка корпусов приборов



MARKET

4 Russian Market News

MODERN TECHNOLOGIES

10 Aspects of Secure Data Transmission in IoT Networks and Their Practical Implementation in LoRaWAN

Andrey Ekonomov

14 Prospects of Development of Data-Processing and Radio-Photon Systems Based on 3D FE PM. Part 2

Valeriy Svede-Shvets, Vladislav Svede-Shvets, Stanislav Svede-Shvets

20 Production of the Passive Part of the Hybrid-Integrated Microwave Circuit Boards Using Thick-Film and Thin-Film Metallization Technologies

Yuriy Nepochatov ..

TOOLING AND EQUIPMENT

26 The New Generation of Russian Ground-Based ATE Systems for Onboard Electronic Equipment

Sergey Zaychenko, Mikhail Kolesnikov

ELEMENTS AND COMPONENTS

30 Reconfigurable Bandpass Filters

Irina Zabegailo, Alexander Tyumentsev, Andrey Yakovlev

DEVICES AND SYSTEMS

32 Jitter Analysis in High-Speed Digital Devices Using the R&S RTO-K12 Option. Part 2

Nikolay Lemeshko, Pavel Strunin

ENGINEERING SOLUTIONS

38 Advanced Audio Power Amplifier Based on Instrumental Amplifier and Powerful Op-Amps

Alexey Kuzminov

DESIGN AND SIMULATION

44 Features of the Use of DTM for Thermal Calculations of Microcircuits in BGA, LGA, and PGA Packages

Alexey Reshetnikov, Vladimir Michurin

48 Performing In-Circuit Measurements of Inductors and Transformers in Switch Mode Power Supplies

Wilson Lee

52 The Concentration of Electromagnetic Waves for Heating Effect

Igor Ivanov, Alexander Kurushin

56 Simulation of Signal Integrity and Crosstalk in Circuits of Multi-Board Electronic Systems. Part 1

Tatyana Kolesnikova

62 Mentor Graphics Solutions in SoC Design. Digital Systems

Andrey Lokhov, Ivan Selivanov

MAN AND LAW

70 Protection of Innovation, Investment, Business by Copyright. Part 2

Gennadiy Fokin

PAGES OF HISTORY

74 Russia is the Birthplace of Electronic Television. To the 150th Anniversary of B.L. Rosing

Vladimir Bartenev

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор А.А. Смирнов

Заместитель главного редактора Д.А. Карлов

Редакционная коллегия А.Е. Балакирев, В.К. Жданкин, С.А. Сорокин, Р.Х. Хакимов

Литературный редактор/корректор О.И. Семёнова

Верстка А.М. Бабийчук

Обложка Д.В. Юсим

Распространение С.Ю. Чепурова (info@soel.ru)

Реклама И.Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К.В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, пом/ком/эт 1/67/тех

Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26

Тел.: (495) 232-0087 • Факс: (495) 232-1653

info@soel.ru • www.soel.ru

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз. Цена свободная

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 г.) Свидетельство № 00271-000 о внесении в Реестр надёжных партнёров ТПП РФ.

Отпечатано: ООО «МЕДИКАЛОПОР».

Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19, бизнес-центр Вэлдан
Тел./факс: (499) 903-6952

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. Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов. Все упомянутые в публикациях журнала наименования продукции и товарные знаки являются собственностью соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2019

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

можно скачать в Google Play в разделе «Приложения/Бизнес» (пользователям устройств на платформе Android) и в App Store в разделе «Бизнес» (пользователям iOS). С помощью этого приложения можно бесплатно читать с экрана номера наших журналов. К новым номерам журнала доступ в приложении платный.

ПОДПИСКА

Концепция распространения журнала –

БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ.

Предусмотрена подписка на печатную или электронную версию журнала. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление каждый год.

ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

Преимущества:

- гарантированная доставка журнала, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- подписка доступна любому желающему по всему миру.

ОФОРМЛЕНИЕ ПЛАТНОЙ ПОДПИСКИ

В любом почтовом отделении России, подписное агентство «Роспечать»:

Тел.: (495) 921-2550.

Индексы на полугодие – 46459, на год – 36280.

Подписное агентство «Урал-Пресс»:

Тел.: (499) 391-6821, 700-0507 • http://www.ural-press.ru

СОДЕРЖАНИЕ 5/2019

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

AdvanteX	68
Engineering solutions	1
EREMEX (Delta Design)	2-я стр. обл.
Fastwel	13
JTAG	8
ProChip	69
ProSoft	51
Schaefer	36
Swissbit	61
XP Power	37
АВД Системы	5, 6
ДОЛОМАНТ	80
Мегратек	63
ПРОТЕХ	9
Роде и Шварц	4-я стр. обл.
ТЕСТПРИБОР	19

ЧИТАЙТЕ СВЕЖИЙ НОМЕР!



Журнал «СТА» («Современные технологии автоматизации») для квалифицированных специалистов, работающих в сфере промышленной автоматизации, АСУ ТП и встраиваемых систем.
www.CTA.ru

РЫНОК

4 Новости российского рынка

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10 Аспекты безопасной передачи данных в сетях IoT и их практическая реализация в LoRaWAN

Андрей Экономов

14 Перспективы развития информационно-вычислительных и радиофотонных систем на базе 3D М ФЭ ПМ. Часть 2

Валерий Сведе-Швец, Владислав Сведе-Швец, Станислав Сведе-Швец

20 Изготовление пассивной части плат ГИС СВЧ с использованием толсто- и тонкоплёночной технологий металлизации

Юрий Непочатов

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

26 Новое поколение российских наземных автоматизированных систем контроля бортового электронного оборудования

Сергей Зайченко, Михаил Колесников



ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

30 Перестраиваемые полосовые фильтры

Ирина Забегайло, Александр Тюменцев, Андрей Яковлев

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

32 Анализ джиттера в высокоскоростных цифровых устройствах на примере опции R&S RTO-K12. Часть 2

Николай Лемешко, Павел Струнин

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

38 Усовершенствованный УМЗЧ на базе ИУ и мощных ОУ

Алексей Кузьминов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

44 Особенности применения детализированных тепловых моделей для тепловых расчётов микросхем в корпусах BGA, LGA и PGA

Алексей Решетников, Владимир Мичурин

48 Внутрисхемное измерение параметров дросселей и трансформаторов в ИИП

Уилсон Ли

52 Концентрация энергии электромагнитного поля для нагрева

Игорь Иванов, Александр Курушин

56 Моделирование целостности сигналов и наводок в цепях многослойных электронных систем. Часть 1

Татьяна Колесникова

62 Решения Mentor Graphics в области проектирования SoC. Цифровые системы

Андрей Лохов, Иван Селиванов

ЧЕЛОВЕК И ЗАКОН

70 Защита инноваций, инвестиций, бизнеса авторским правом. Часть 2

Геннадий Фокин

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

74 Россия – родина электронного телевидения. К 150-летию со дня рождения Б.Л. Розинга

Владимир Бартнев

Новости российского рынка

СОБЫТИЯ

Конференция «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ»

Компания Engineering solutions, Ltd – дизайн-центр по контрактной разработке электроники, отличительной особенностью которого является тщательный анализ и верификация средствами моделирования каждого изделия до этапа изготовления. Инженеры компании регулярно делятся своими навыками и практическим опытом во время курсов повышения квалификации, организуемыми на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана.

2 апреля 2019 года специалисты Engineering solutions провели конференцию «Проектирование и моделирование печатных плат» в городе Санкт-Петербург, в которой приняли участие как начинающие, так и опытные разработчики электроники, специалисты

по целостности питания и сигналов высокоскоростных интерфейсов, а также руководители разрабатывающих подразделений от более чем 30-ти ведущих компаний региона (АО «Заслон», АО «Морион», АО «НИИ «Вектор», ПАО «Интелтех», АО «Гранит-ВТ», АО «НПП «Радар ммс», ООО «Профитт» и пр.)

На конференции рассматривались вопросы, посвящённые основным тенденциям в области проектирования печатных плат, приёмы ведения разработки с учётом требований целостности питания и сигналов высокоскоростных интерфейсов, а также методики обеспечения электромагнитной совместимости. Формат мероприятия предполагал практический обмен опытом и обсуждение проектов участников, а также референс-дизайнов из открытых источников от ведущих мировых производителей электроники.



Поскольку многие участники конференции проявили повышенную заинтересованность к моделированию, компания Engineering solutions решила запустить сервис по верификации проектов заказчиков, создавая с ними инженерную команду. И для оценки применимости сервиса по моделированию при первом обращении анализ части проекта предоставляется бесплатно.

www.ensol-ltd.ru

Тел.: 8 (800) 550-7769

Совместно с ЛЭТИ: «День Радио ЭРЕМЕКС» НА БЕРЕГАХ НЕВЫ

28 и 29 мая 2019 г. компания ЭРЕМЕКС совместно с одним из ведущих российских технических высших учебных заведений России – Санкт-Петербургским государственным электротехническим университетом «ЛЭТИ» – проведёт конференцию «День Радио ЭРЕМЕКС», посвящённую проектированию систем на печатных платах средствами САПР Delta Design.

В этом году сотрудничество ЭРЕМЕКС и ЛЭТИ вошло в активную фазу. Вузу были переданы лицензии САПР электроники Delta Design для внедрения в учебный процесс, и сегодня студенты выполняют свои проекты печатных плат, используя маршрут проектирования Delta Design. А значит, будущие инженеры уже при выпуске из университета будут иметь опыт работы в САПР Delta Design, что поможет им в трудоустройстве.

В первый день конференции, 28 мая, состоится пленарное заседание, на котором с докладами выступят как представители ЭРЕМЕКС, так и специалисты вуза.

Речь пойдёт о результатах работы ЭРЕМЕКС в 2018 г., об опыте внедрения САПР Delta Design на отечественных предприятиях, об особенностях подготовки в ЛЭТИ ин-

женерных кадров для предприятий приборостроения. Слушателей также ждёт обзор нового функционала САПР Delta Design версии 2.7. На семинаре выступит технологический партнёр ЭРЕМЕКС – компания АСКОН с презентацией интеграции Delta Design с программным обеспечением КОМПАС-3D и ЛОЦМАН:PLM.

На вторую часть конференции запланированы две параллельные тематические секции: секция 1 «Схемотехническое проектирование и моделирование в САПР Delta Design» будет интересна инженерам-схемотехникам, а секция 2 «Проектирование печатных плат в САПР Delta Design» ориентирована на конструкторов печатных плат.

Во второй день, 29 мая, пройдёт мастер-класс «Сквозной маршрут проектирования многослойных печатных плат в САПР электроники Delta Design», в ходе которого участники, сидя за компьютерами и следуя рекомендациям преподавателя, узнают как в САПР Delta Design:

- создавать и вести базы данных электро-радиоизделий;
- создавать принципиальную электрическую схему;
- создавать контур и задавать структуру слоёв платы;
- размещать электронные компоненты, трассировать электрические соединения.



Мастер-класс предназначен для инженеров-схемотехников и конструкторов печатных плат, которые только начинают знакомиться с САПР Delta Design. По окончании мастер-класса участникам будут выданы соответствующие сертификаты.

Просим обратить внимание, что количество мест в мастер-классах ограничено.

Участие в семинаре бесплатное, требуется предварительная регистрация.

Чтобы зарегистрироваться, пожалуйста, заполните форму на сайте ЭРЕМЕКС или обратитесь к организаторам: Любовь Быстрова (Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 448-04-44 доб. 5466, bystrova.l@spb.regionprof.ru) или Мария Максимова (Москва, тел.: +7 (495) 234-0636 доб. 22410, maksimova.m@expotronica.ru).

Подробную информацию о программе семинара и условиях участия можно получить на сайте radioday.eremex.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

НОВЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ СТАНДАРТ VULKAN SC ВЫБРАН NASA ДЛЯ КАБИНЫ «ТИХОГО» СВЕРХЗВУКОВОГО ЛАЙНЕРА X-59 QueSST

Компания Core Avionics and Industrial (CoreAVI), производитель сертифицируемых драйверов графических процессоров, выпустила драйвер нового стандарта Vulkan SC (Safety Critical) и объявила о том, что NASA выбрала CoreAVI Vulkan SC для разработки графического интерфейса XVS (eXternal Vision System) кабины «тихого» сверхзвукового пассажирского лайнера X-59 QueSST (Quiet SuperSonic Technology).

«Тихий» сверхзвуковой самолёт, разрабатываемый компанией Lockheed Martin, будет летать со скоростью примерно 1,4 числа Маха (1500 км/ч), и, благодаря конструкции корпуса, уровень шума на земле при переходе лайнером звукового барьера не будет превышать 75 дБ. Первый полёт экспериментального образца запланирован на 2021 год.

Новый графический стандарт Vulkan разработан консорциумом Khronos Group

как альтернатива широко применяемому стандарту OpenGL. Основной целью разработки нового стандарта является повышение производительности графических приложений за счёт предоставления разработчику приложения прямого доступа к ресурсам графического процессора. Стандарт Vulkan SC (Safety Critical), как и стандарт OpenGL SC, является подмножеством, сертифицируемым по требованиям безопасности, таким как DO-178C (авионика) и ISO 26262 (автотелематика).

Первый релиз драйвера CoreAVI Vulkan SC поддерживает графический процессор AMD Embedded Radeon E9171 и систему на кристалле NXP i.MX8. Драйвер работает в среде операционных систем реального времени VxWorks, PikeOS, QNX, Integrity, Deos и LynxOS и может быть сконфигурирован для других OCPB, а также для безОС-вых (bare-metal) систем. Драйверы OpenGL SC 1.0 и 2.0 будут по-прежнему поддерживаться, но уже как надстройка поверх драйвера Vulkan SC.

Драйвер Vulkan SC сопровождается пакетом сертификационных документов по стан-



дарту DO-178C. Компания CoreAVI обеспечивает поддержку сертификации и участие CoreAVI DER (Designated Engineering Representative) в сертификационных аудитах заказчика. Компания CoreAVI имеет 12-летний опыт сертификации своих продуктов в более 60 программах в более 20 странах.

Дистрибьютор CoreAVI в России – компания АВД Системы, поставщик средств разработки программного обеспечения критически важных для безопасности сертифицируемых встраиваемых компьютерных систем.

www.avdsys.ru/gpu

Среда автоматизированного тестирования ПО критически важных для безопасности, сертифицируемых встроенных микропроцессорных систем



DO-178C



IEC 61508



IEC 60880



CANTATA



EN 50128



ISO 26262



IEC 62304

Дистрибьютор в РФ ООО «АВД Системы» - (916) 194-4271, avdsys@aha.ru

www.avdsys.ru/test

NVIDIA ПЕРЕХОДИТ НА ЯЗЫК Ada

Компания AdaCore, производитель средств разработки и верификации ПО критических для безопасности встраиваемых систем, объявила о начале сотрудничества с корпорацией NVIDIA по применению языков программирования Ada и SPARK при разработке критического для информационной безопасности (security critical) ПО будущих систем-на-кристалле NVIDIA, построенных на базе новой открытой архитектуры RISC-V.

Переходы NVIDIA на архитектуру RISC-V и на языки Ada и SPARK обусловлены возросшими требованиями к безопасности и защищенности ПО, предъявляемыми новыми ответственными применениями, такими как автоматизированные и автоматические транспортные средства. На странице www.adacore.com/resources можно загрузить руководство «AdaCore Technologies for Cyber Security» по применению языков Ada и SPARK и продуктов AdaCore для разработки ПО, критически важного для информационной безопасности.

Архитектура RISC-V разработана в Университете Беркли и поддерживается консорциумом RISC-V Foundation, объединяющим более 200 компаний, таких как NVIDIA, NXP, Marvell, Google, Thales, Samsung, Qualcomm и Western Digital. Недавно компания AdaCore стала членом консорциума RISC-V Foundation, и внесла свой вклад в поддержку архитектуры выпуском компиляторов GNAT Pro Ada и GNAT Pro C для 32-бит и 64-бит RISC-V, а также бесплатного варианта компилятора GNAT Community для 32-бит RISC-V.

Язык программирования Ada создавался специально для разработки ПО с повышенными требованиями к надежности. В настоящее время Ada является основным языком для разработки ПО систем, критически важных для безопасности.

Язык Ada является международным стандартом ISO 8652. В последней редакции стандарта ISO 8652-2012 (Ada 2012) введена конструкция для задания «контрактов» – требований к результатам работы программного модуля, описанных непосредственно в тексте программы на языке Ada. «Контракт» предназначен для использования компилятором для вставки динамических проверок или средствами статического анализа для формальной верификации.

Язык SPARK является подмножеством Ada 2012, позволяющим проводить формальную верификацию ПО – доказательство математическими методами, что ПО делает то, что от него требуется и не делает того, что не требуется.

Недавно компания AdaCore завершила исследовательский проект, целью которого было продемонстрировать применение формальных методов для выполнения требований стандарта функциональной безопасности автомобильного ПО ISO 26262 в части обеспечения «Freedom from Interference» (Свободы от Вторжений) – защиты приложений с высоким уровнем критичности для безопасности ASIL (Automotive Safety Integrity Level) от влияния сбоев, возникших в приложениях с низким уровнем критичности ASIL, унаследованных (legacy) из предыдущих проектов и написанных на языке Си. В этом проекте компания AdaCore выступила не только поставщиком средств формальной верификации ПО на языке SPARK, но и разработчиком методологии создания «контрактов» для обеспечения требований Freedom from Interference в ISO 26262, а также технологии «гибридной верификации» – совмещения формальных методов с традиционной верификацией ПО, основанной на тестировании.



Комплекс инструментальных средств **GNAT Pro Ada** включает в себя компилятор, поддерживающий все версии стандартов Ada (Ada 83, Ada 95, Ada 2005 и Ada 2012), интегрированную среду разработки, визуальный отладчик, средства автоматизации тестирования, средства статического анализа (контроль стандартов кодирования, сбор метрик программного кода, анализатор стека), средства формальной верификации (доказательства корректности работы ПО с помощью математических методов) и средства интеграции Ada и C/C++ программ. Комплекс GNAT Pro Ada поддерживает микропроцессорные архитектуры x86, PowerPC, ARM и LEON. Поддерживаются целевые платформы с операционными системами LynxOS, PikeOS, QNX, VxWorks, Embedded Linux и без ОС (bare metal).

Вариант **GNAT Pro Assurance** предназначен для разработки ПО систем, сертифицируемых по стандартам функциональной безопасности, таким как DO-178C (авионика), EN 50128 (ж/д системы), ISO 26262 (автотехника) и ECSS-E-ST-40C/Q-ST-80C (космическая техника).

Другие продукты AdaCore:

- **CodePeer** – статический анализатор / детектор потенциальных ошибок и уязвимостей в программах на языке Ada;
- **SPARK Pro** – комплекс средств верификации ПО на языке SPARK – формально верифицируемое подмножество языка Ada;
- **QGen** – квалифицируемый генератор программного кода на языках MISRA C и SPARK из моделей Simulink/Stateflow.

Дистрибьютор компании AdaCore в России – компания АВД Системы, поставщик средств разработки программного обеспечения критически важных для безопасности сертифицируемых встраиваемых компьютерных систем. Предлагаем предприятиям, заинтересованным в получении дополнительной информации о языках Ada и SPARK и современных технологиях разработки и верификации ПО, проведение бесплатного семинара.

www.avdsys.ru/ada



ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

НОВЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ TPFW ОТ АО «ТЕСТПРИБОР»

АО «ТЕСТПРИБОР» представляет новую серию волноводных фильтров TPFW собственного производства.

Данные фильтры работают в широком диапазоне температур, имеют хорошее подавление сигналов на ближней отстройке, малые потери в полосе пропускания, хороший КСВН.

Волноводные фильтры TPFW производства АО «ТЕСТПРИБОР» могут фильтровать сигналы большой мощности.

Основные технические характеристики фильтров TPFW:

- диапазон частот – от 4 до 40 ГГц;



- полоса пропускания – от 0,5 до 5%;
- рабочая температура –60...+125°C;
- неравномерность ГВЗ в рабочем диапазоне частот – не более 3 нс;
- потери в рабочей полосе частот – не более 1,5 дБ;

- неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот – не более 0,5 дБ;
- КСВН входа/выхода – не более 1,2:1.

Область применения волноводных фильтров обширна – радиолокация, радиосвязь, спутниковая связь, испытательная аппаратура, лабораторное оборудование и т.д.

Помимо стандартной линейки компания «ТЕСТПРИБОР» предлагает разработку волноводных фильтров по техническому заданию заказчика.

За более подробной информацией об особенностях и характеристиках волноводных фильтров TPFW обращайтесь к специалистам АО «ТЕСТПРИБОР».

www.test-expert.ru
Тел.: +7 (495) 657-8737

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ TELEDYNE LeCROY HD AWG

Компания Teledyne LeCroy под брендом Teledyne Test Tools запустила новые продукты в своей линейке средств измерений – 2-канальные генераторы сигналов произвольной формы высокого разрешения HD AWG.



Отличительные особенности приборов HD AWG:

- вертикальное разрешение 16 бит – исключительная чистота и достоверность сигнала для повышения качества выпускаемой электронной продукции и сокращения цикла разработки;
- длина памяти до 1 Гб/канал – непревзойдённо глубокая память позволяет хранить и воспроизводить сложные формы псевдослучайных сигналов для тестирования на длительном интервале времени;
- генератор смешанных сигналов – новый отраслевой уровень – генератор, аппаратно объединяющий 2 аналоговых выхода и 8 цифровых синхронизированных каналов для отладки и инженерного дизайна цифровых продуктов.

В линейку входят 2 модели генераторов сигналов специальной и произвольной формы T3AWG3252 и T3AWG3352 с высоким разрешением при формировании выходного сигнала, имеющие 2 аналоговых канала (см. таблицу).

Основные характеристики генераторов сигналов произвольной формы высокого разрешения HD AWG

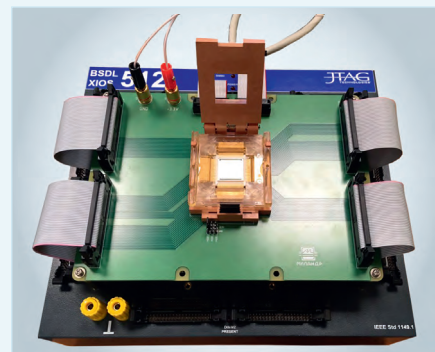
Параметр \ Модель	T3AWG3252	T3AWG3352
Количество каналов	2	
Количество цифровых выходов	8	
Цифровой выход	1 мГц	
Цифровой выход	250 МГц	350 МГц
Выходной уровень (максимум)	6 В пик (опция – до 12 В пик)	
Выходной импеданс, Ом	50 или 5 (выбор)	
ЦАП, бит	16	
Память (СПФ)	128 МБ (опция – до 1024 МБ)	
Виды модуляции	АМ, ЧМ, ИМ, ЧМн, ФМн, ШИМ и ГЧЧ	
Пакетный режим	Да	

www.protehnology.ru
Тел./факс: (495) 662-9625

Миландр поставляет проверенные BSDL-описания для микросхем с поддержкой периферийного сканирования

Компания «Миландр» первой на территории России закупила уникальный программно-аппаратный комплекс BSDL Verifier производства JTAG Technologies.

Устройство является профессиональным инструментом, позволяющим проверять BSDL-файлы на реальной микросхеме. Причём, обнаруживает оно не только синтаксические и семантические ошибки, но и несоответствие содержимого BSDL-файла самому кристаллу.



Все новые и разрабатываемые цифровые микросхемы ПМК «Миландр» поддерживают технологию периферийного сканирования. Регистры сканирования описываются в виде BSDL-файлов, которые затем, при тестировании собранных плат, автоматически обрабатываются тестовыми системами JTAG.

Использование устройства BSDL Verifier позволит компании и её клиентам быть уверенными в точном соответствии JTAG-инфраструктуры микросхем её описанию.

ПМК «Миландр» использует периферийное сканирование во всех сферах своей деятельности: тестирование микросборок, микросхем и собранных печатных плат.

www.jtagtechnologies.ru
Тел.: (812) 602-0915

40/60 Вт AC/DC для применения в ИТ и медицинской аппаратуре

Новые серии источников питания AC/DC с конвекционным отводом тепла, представленные компанией XP Power, — 40-ваттные (серия FCS40) и 60-ваттные (серия FCS60) — конструктивно выполнены в открытом каркасе, имеют два средства защиты пациента (2xMOPP) от поражения электрическим током, соответствуют требованиям к безопасности бытовой техники стандарта IEC 60335-1 и международного стандарта IEC 62368-1, устанавливающего требования безопасности к оборудованию информационных технологий.

Серия FCS40 предлагает ряд из шести моделей с выходными напряжениями 12 В (ток нагрузки 3,34 А), 15 В (2,67 А), 18 В (2,23 А), 24 В (1,67 А), 36 В (1,11 А) и 48 В (0,83 А). В состав серии FCS60 входит шесть моделей с выходными параметрами 12 В (ток нагрузки 5 А), 15 В (4 А), 18 В (3,33 А), 24 В (2,5 А), 36 В (1,67 А) и 48 В (1,25 А). Напряжение 36 В в настоящее время используется в медицинском оборудовании с электромоторами для хирургических применений.

Обе серии имеют на плате регулировочный потенциометр для регулировки выходного напряжения в пределах $\pm 10\%$ от номинального значения.



Источники питания обеспечивают полную выходную мощность в диапазоне входного напряжения от 90 до 264 В, возможна работа при напряжении ниже 80 В с небольшим понижением мощности. Преобразование напряжения осуществляется с КПД до 86%, при работе в режиме холостого хода входная мощность не превышает 0,3 Вт. Максимальное значение тока утечки на землю 250 мкА. Возможно применение модулей питания в системах с защитой от поражения электрическим током по классам I и II.

Модули питания серии FCS соответствуют требованиям следующих стандартов: EN 55011/EN 55032 Class B по уровню генерируемых кондуктивных помех и Class A по уровню помех излучения (Class B при установленных внешних фильтрующих компонентах); IEC 60601-2 издание 4.0 2014 (устанавливает требования безопасности к медицинскому оборудованию); стандарт электробезопасности IEC 60335-1 (оборудование для бытового применения); CB IEC 60950-1 и IEC 62368-1 2014 (для информационной тех-

ники); cUL62368 (ITE); TUV EN 62368-1 (ITE); CB IEC 60601-1 издание 3.1, включая управление рисками (медицинское оборудование); UL ANSI/AAMI ES 60601-1 и CSA C22.2 No 60601-1:08 (медицинское оборудование); CE EN 60601-1 (медицинское оборудование).

Габаритные размеры корпуса модуля питания серии FCS40 составляют 76,2×50,8×26,16 мм, размеры корпуса модуля питания серии FCS60 — 101,6×50,8×26,4 мм. Диапазон рабочих температур от -25 до $+70^\circ\text{C}$, полная мощность в нагрузке обеспечивается до температуры $+40^\circ\text{C}$. Среднее значение времени между отказами (MTBF), рассчитанное по стандарту MIL-HDBK-217F Notice 2 для температуры $+25^\circ\text{C}$ при применении в стационарном наземном оборудовании, составляет 500 000 ч.

Соответствие уровня кондуктивных помех Class B стандарта EN55011/32 при очень низких токах утечки позволяет применять источники питания серии FCS в бытовой технике, медицинском, промышленном оборудовании, где требуются компактные источники питания в открытом корпусе, которые соответствуют требованиям самых последних законов об охране окружающей среды.

Производителем поддерживается гарантийный срок 3 года.

<http://prosoft.ru>
Тел.: (495) 234-06-36

www.jtagtechnologies.ru

JTAG
TECHNOLOGIES

JTAG ProVision – самая совершенная программа для периферийного сканирования на сегодняшний день

Автоматическая генерация тестов

Русскоязычный интерфейс

Скрипты для создания продвинутых тестов

Десятки тысяч готовых моделей ЭКБ

Последовательности для производства

Проверена работа с отечественной ЭКБ, поддерживающей периферийное сканирование!

Представительство JTAG Technologies в России
Телефон: (812) 602-0915
E-mail: russia@jtag.com

Эксклюзивный дистрибьютор: ООО «Остек-Электрон»
Телефон: (495) 788-4444
E-mail: info@ostec-group.ru

Реклама

Дымоуловители Duet FE 300-2

DUET FE 300-2 – многоступенчатая система, для очистки воздуха при ручной пайке до состояния почти медицинской стерильности.

Duet FE 300-2 блок – портативная система легко устанавливается и в любое время может быть перенесена в связи с производственными нуждами.

- Гранулированный угольный фильтр;
- Фильтр HEPA-13 (эффективность 99.97%), класс F7;
- Увеличенный размер выпускных патрубков 75 мм;
- Высокая производительность 320 м³/час;
- Воздушный поток 11.3 м/с (2x75 мм) при давлении 30 мБар;
- Низкий уровень шума <52 дБ;
- Материал корпуса – сталь с порошковым покрытием;
- Для двух рабочих мест.

Блок Duet FE 300-2 поставляется в комплекте с комбинированным и предварительным фильтрами.



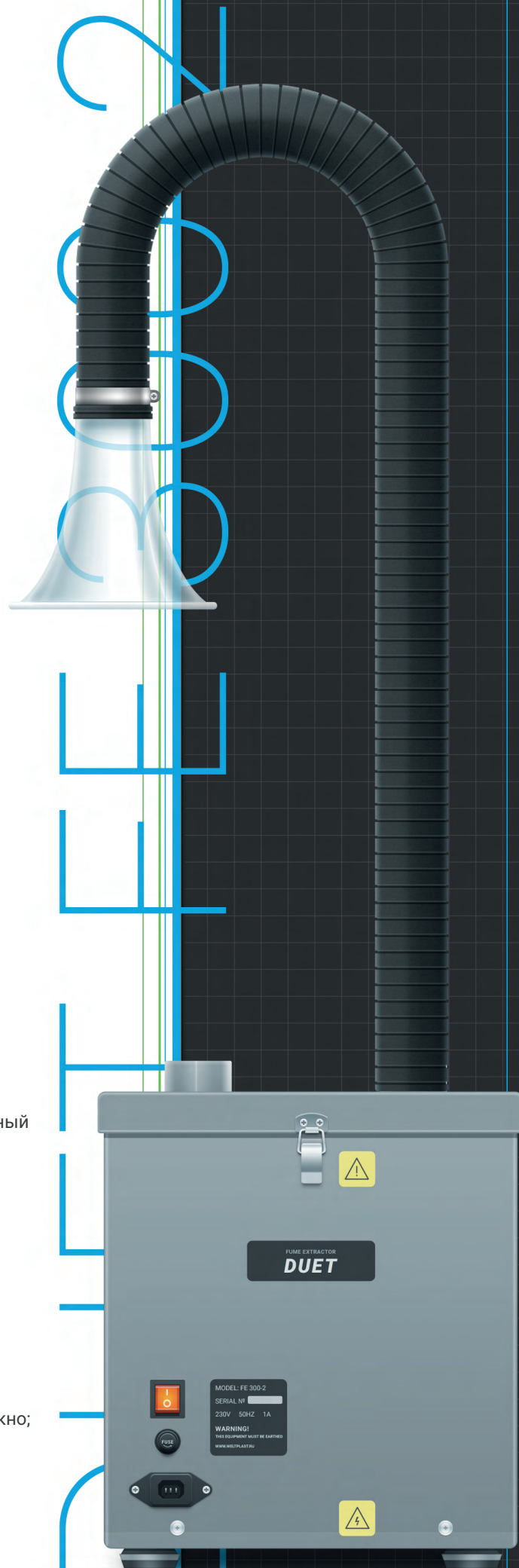
Характеристики комбинированного фильтра

- Фильтр HEPA-13 (эффективность 99.97%);
- Газовый фильтр – гранулированный активированный уголь;
- Корпус фильтра – сталь, окрашенная в любой цвет по желанию заказчика, на цену это не влияет.



Характеристики предварительного фильтра

- Материал фильтра – стекловолокно;
- Эффективность – класс F7 (96% до частицы до 2 микрон).



Аспекты безопасной передачи данных в сетях IoT и их практическая реализация в LoRaWAN

Андрей Экономов (andrei.n.ekonomov@domru.ru)

В статье рассмотрены алгоритмы обеспечения безопасности данных на примере сети Интернета вещей LoRaWAN: авторизация, генерация ключей шифрования и осуществление надёжного хранения идентификаторов устройств.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сети Интернета вещей (Internet of Things, IoT) типа LPWAN (Low Power Wide Area Network) активно строятся по всему миру, однако вопрос безопасности передаваемых по ним данных и сигналов управления до сих пор остаётся открытым как для потенциальных клиентов, так и для телекоммуникационных специалистов.

Рассмотрим общие принципы защиты данных в сетях IoT на примере сети стандарта LoRaWAN (LongRange Wide Access Network), построенной в Российской Федерации АО «ЭР-Телеком Холдинг». Именно технология LoRaWAN сейчас является драйвером развития направления IoT во всём мире [1] и используется в качестве основного инструмента для управления критически важной инфраструктурой, транспортом, производством, здравоохранением, муниципальным и сельским хозяйством более чем в 100 странах мира.

Защита данных в любой сети Интернета вещей, независимо от конкретно-

го стандарта или технологии, должна соответствовать следующим критериям:

- end-to-end конфиденциальность пользовательских данных на уровне приложения;
- взаимная идентификация абонентского устройства и сети;
- проверка целостности данных при передаче на радиоинтерфейсе;
- конфиденциальность сигнальной информации (управляющих команд);
- безопасное хранение идентификаторов абонентского устройства и его полномочий;
- оперативное устранение найденных уязвимостей в ПО компонентов сети и абонентских терминалов;
- возможность использования отечественных средств криптографической защиты информации (СКЗИ) для критической инфраструктуры.

Кроме того, стоит отметить необходимость защиты от атак серверов (операторских, управляющих сетью, и клиентских, на которых запускаются приложения обработки пользовательских данных), однако данный вопрос является слишком объёмным и рассмотреть

его в рамках статьи не представляется возможным.

ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СЕТИ IoT НА ПРИМЕРЕ LoRaWAN

Сеть LoRaWAN состоит из следующих элементов (см. рис. 1): абонентские терминалы, базовые станции (шлюзы), сетевой сервер и серверы приложений.

Абонентский терминал – обобщающее наименование для сенсоров, датчиков, счётчиков, актуаторов и радиомодулей IoT, устанавливаемых на стороне пользователя.

Базовая станция (БС) выполняет функции сопряжения и взаимодействия радиосети с абонентским терминалом и концентрации нагрузки с группы терминалов. Совокупность базовых станций оператора обеспечивает территорию радиопокрытия сети и прозрачную двустороннюю передачу данных между конечными устройствами и сетевым сервером.

Сетевой сервер – программно-аппаратный комплекс, управляющий радиосетью, контролирующий её и выполняющий маршрутизацию пакетов данных от абонентских терминалов до соответствующих серверов приложений.

Управление радиосетью состоит в том, что сетевой сервер сети LoRaWAN выбирает БС для передачи сообщений в направлении «вниз» (downlink), принимает решения о необходимости изменения скорости передачи данных для каждого терминала, мощности передатчика, контролирует заряд батарей конечных устройств, шифрует данные и т.п.

Контроль радиосети включает функции мониторинга, сбора статистики и аварийного информирования.

Каждый пакет данных, отправляемый абонентским терминалом, имеет в своём составе уникальный идентификатор DevAddr, а на сетевом сервере хранится запись о соответствии DevAddr и URL-сервера приложений, которому предназначена информация от терминала (датчика). На основании этого соответствия сетевой сервер выполняет маршрутизацию пакета до сервера приложений, где происходит его дальнейшая обработка приложением клиента.

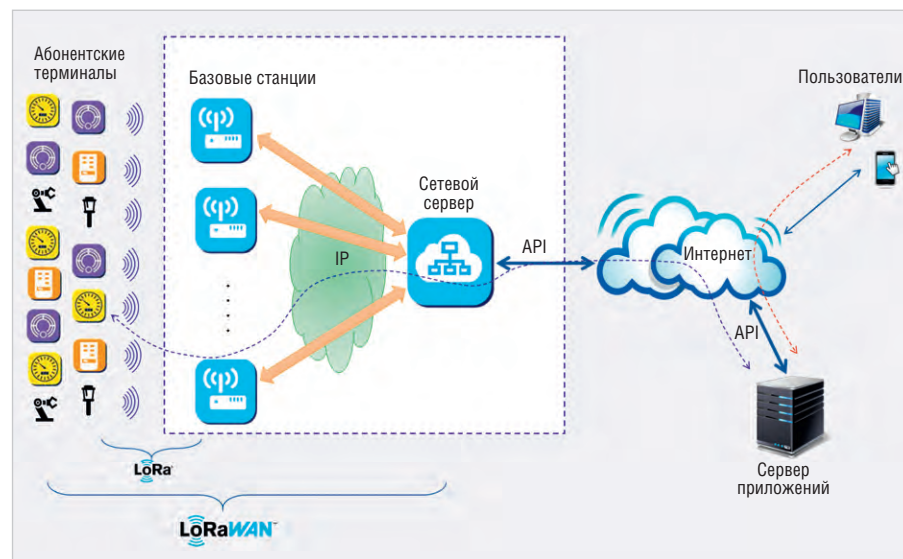


Рис. 1. Архитектура сети LoRaWAN

Сервер приложений – платформа, производящая обработку данных, получаемых от терминалов и направляемых к ним. Помимо работы с данными, сервер приложения может управлять терминалами с уровня приложения (например, переводить их в режим работы другого класса, управлять опцией адаптивной передачи данных, мультикаста и т.п.). Сервер приложений может находиться на территории оператора, на территории клиента или в одном из «облачных» сервисов.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАВАЕМЫХ ДАННЫХ

В сети IoT LoRaWAN используется многоуровневая система безопасности передачи данных (см. рис. 2).

1-й уровень. AES-шифрование на уровне приложения (end-to-end, т.е. между абонентским терминалом и сервером приложений) с помощью 128-битного переменного сессионного ключа Application session key (AppSKey). Данный ключ шифрования хранится в абонентском терминале и на сервере приложений и недоступен оператору сети (доступ к AppSKey есть только у клиента – владельца сервера приложений). Формирование сессионного ключа происходит параллельно в абонентском терминале и на стороне сети во время процедуры активации терминала; через эфир AppSKey не передаётся.

2-й уровень. AES-шифрование и проверка целостности сообщений на сетевом уровне (между абонентским терминалом и сетевым сервером) с помощью 128-битного переменного сессионного ключа Network session key (NwkSKey). Данный уровень шифрования используется для защиты передаваемых сигнальных команд на MAC-уровне, а также для вычисления MIC (Message Integrity Code) с целью проверки целостности данных, передаваемых по радиointерфейсу. NwkSKey хранится в абонентском терминале и на сетевом сервере и недоступен клиенту (доступ к NwkSKey есть только у оператора сети – владельца сетевого сервера). Формирование сессионного ключа NwkSKey также происходит параллельно в абонентском терминале и на стороне сети во время процедуры активации терминала; через эфир NwkSKey не передаётся.

3-й уровень. Стандартные методы аутентификации и шифрования

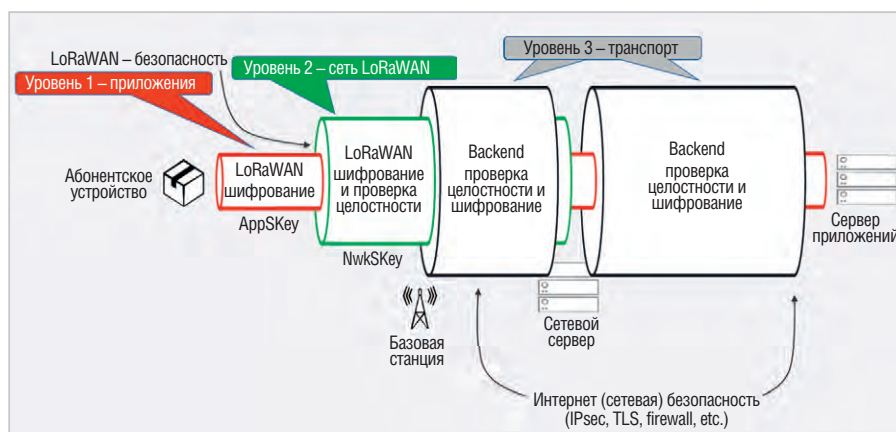


Рис. 2. Общая схема безопасности данных в сети LoRaWAN

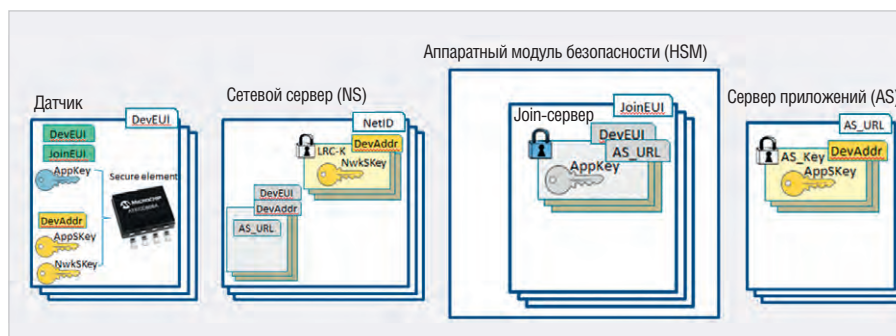


Рис. 3. Схема хранения ключей шифрования

интернет-протокола (IPsec, TLS и т.п.) при передаче данных по транспортной сети между узлами сети (базовая станция, сетевой сервер, Join-сервер (см. далее), сервер приложений).

По команде приложения или сетевого сервера в любой момент возможен переход на новую сессию с генерацией нового комплекта ключей шифрования, что делает бесполезными старые ключи шифрования. Кроме того, имеется возможность установки периодической генерации нового комплекта ключей NwkSKey и AppSKey.

В версии стандарта LoRaWAN V1.0.x [2] формирование сессионных ключей на стороне сети производится на сетевом сервере (NS), однако в версии V1.1 [3] для этих целей определяется выделенный сервер (так называемый Join-сервер) (см. рис. 3), который может быть дополнительно защищён отдельным аппаратным модулем безопасности HSM (Hardware Security Module). В этом случае для безопасной передачи сгенерированных сессионных ключей между серверами, а также хранения их на сетевом сервере и сервере приложений внедряются дополнительные ключи: AS_Key для ключа AppSKey и LRC_K для ключа NwkSKey. На абонентском устройстве ключи шифрования опциональ-

но могут защищаться специальным аппаратным элементом безопасности Secure Element (например, микроконтроллером Microchip ATECC608A), что исключит их компрометацию в случае физического воздействия на терминал.

Внедрение аппаратных средств защиты в сети и на терминале делает бесполезными попытки перехвата сессионных ключей при передаче их между серверами и взлома серверов или абонентских устройств с целью извлечения сессионных ключей.

Рассмотренные мероприятия создают также условия для защищённого роуминга данных (безопасной авторизации датчиков в гостевой сети и защищённой передачи данных домашнему серверу приложений из гостевой сети).

В целях дополнительной защиты процесса генерации сессионных ключей Join-сервер может быть физически вынесен на территорию клиента или производителя устройств (см. рис. 4). В этом случае даже сотрудники оператора не смогут получить доступ к сессионным и корневым ключам шифрования абонентского терминала.

Несмотря на то что в РФ не требуется обязательная сертификация средств кодирования (шифрования)

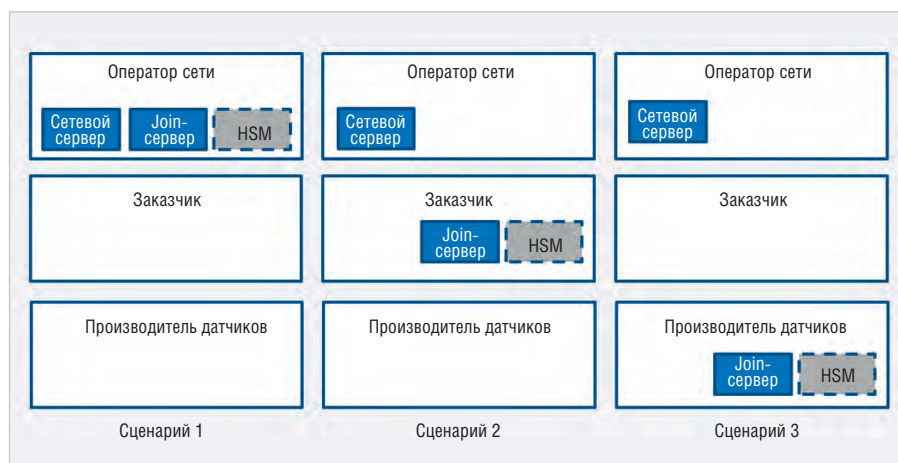


Рис. 4. Возможные сценарии размещения Join-сервера

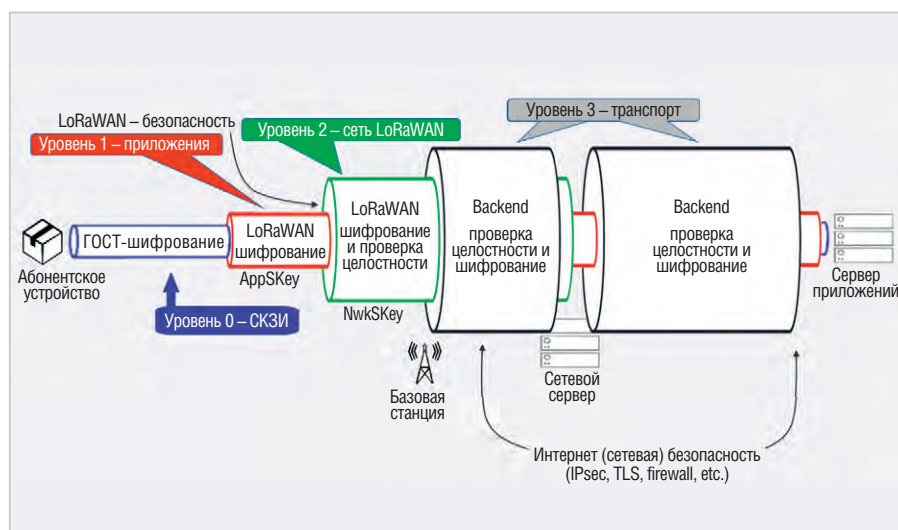


Рис. 5. Схема внедрения СКЗИ в структуру шифрования данных сетей LoRaWAN

при передаче сообщений, не составляющих государственную тайну [4], по требованию заказчика используемые в стандарте LoRaWAN уровни шифрования AES-128 могут быть дополнены одним из стандартизованных в РФ алгоритмов, входящих в семейство ГОСТ Р 34.10-2012 [5], ГОСТ Р 34.11-2012 [6], или алгоритмом «Кузнечик» (согласно ГОСТ Р 34.12-2015 [7] и ГОСТ Р 34.13-2015 [8]). Для этого при производстве абонентских терминалов LoRaWAN предлагается устанавливать в них дополнительный микроконтроллер СКЗИ, сертифицированный ФСБ России и соответствующий требованиям, предъявляемым к шифровальным средствам класса КСЗ (дистанционное банковское обслуживание, электронный документооборот в государственном секторе и т.д.). В качестве такого микроконтроллера могут быть использованы, например, микропроцессоры отечественного производства «Микрон МИК51SC72D» или

«Микрон МИК51AD144D», сертифицированные ФСТЭК и ФСБ России, имеющие небольшие размеры (около 14 мм²) и малое энергопотребление.

Схема безопасности данных в сети LoRaWAN с дополнительным уровнем СКЗИ представлена на рисунке 5.

Ключ шифрования уровня СКЗИ, например SubSKey (согласно ГОСТ Р 34.12-2015 [7]), прошивается в абонентский терминал LoRaWAN при производстве, так же как и корневой ключ уровня шифрования 1–2 LoRaWAN, или внедряется в терминал вместе с микроконтроллером СКЗИ при введении терминала в эксплуатацию (путём использования специального слота). Дешифрация данных уровня СКЗИ производится на территории заказчика сервером приложений после дешифрации уровня приложения сессионным ключом AppSKey. Ключ шифрования SubSKey передаётся клиенту вместе с датчиком непосредственно производителем абонентского терминала и недо-

ступен сотрудникам оператора сети LoRaWAN.

Выводы

Обозначенные ранее критерии безопасной передачи данных в сети IoT стандарта LoRaWAN реализуются следующими способами:

- AES-шифрование с помощью сессионного ключа AppSKey;
- процесс авторизации терминала при первичном подключении к сети (или по специальной команде о повторе авторизации);
- вычисление MIC-кода на основе сессионного ключа NwkSKey;
- AES-шифрование MAC-команд с помощью сессионного ключа NwkSKey;
- внедрение аппаратного элемента безопасности Secure Element в абонентский терминал и защита HSM-модулем Join-сервера;
- дистанционная смена ПО абонентских терминалов через эфир с помощью специфицированного LoRaAlliance-механизма FUOTA (Firmware Upgrade Over The Air) [9] и установка обновлений на сетевой сервер и сервер приложений;
- внедрение дополнительного «нулевого» уровня end-to-end-шифрования по сертифицированным ФСБ РФ алгоритмам.

ЛИТЕРАТУРА

1. LoRaWAN Members Meeting, Tokyo, 2018.
2. LoRaWAN™ Specification, version V1.0.3, 2018.
3. LoRaWAN™ 1.1 Specification, 2018.
4. Извещение по вопросу использования несертифицированных средств кодирования (шифрования) при передаче сообщений в информационно-телекоммуникационной сети Интернет. ФСБ РФ, 2016.
5. ГОСТ Р 34.10-2012. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи.
6. ГОСТ Р 34.11-2012. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования.
7. ГОСТ Р 34.12-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры.
8. ГОСТ Р 34.13-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Режимы работы блочных шифров.
9. LoRa Alliance, FUOTA Process Summary Technical Re 1 commendation TR002 v1.0.0, 2019.



НОВОСТИ МИРА

НТЦ «Модуль» ЗАПУСКАЕТ В СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО NaviMatrix

Научно-технический центр «Модуль», ведущий российский разработчик микроэлектронных компонентов, представляет готовый к серийному выпуску встраиваемый модуль высокоточного спутникового трёхчастотного навигационного приёмника MC149.01, который будет продвигаться на рынке под брендом NaviMatrix.



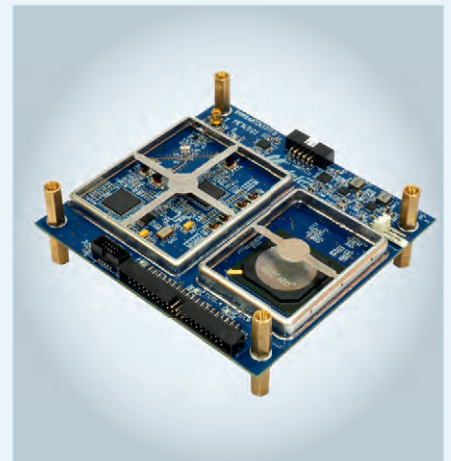
Приёмник выполняет обработку спутниковых навигационных сигналов в дифференциально-фазовом режиме и позволяет достигать сантиметровой точности при определении координат в динамике или миллиметровой в статике.

Устройство построено на базе отечественного навигационного процессо-

ра K1888BC018 собственной разработки НТЦ «Модуль». По своим характеристикам приёмник приближается к зарубежным аналогам и может конкурировать с ведущими отечественными разработками, что подтверждают сравнительные экспериментальные замеры.

NaviMatrix MC149.01 представляет «элиту» высокоточного навигационного оборудования: он работает в трёх частотных диапазонах и принимает сигналы глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Устройство достаточно компактное и энергоэффективное, поэтому может быть интегрировано в самый широкий круг аппаратных комплексов, где требуются высокоточные местоопределения. Навигационный модуль совместим с библиотекой высокоточной навигации RTKLib.

Новая разработка НТЦ «Модуль» найдёт применение в высокоточной навигационной аппаратуре потребителей. Устройство актуально в таких отраслях, как автомобильный и ж/д транспорт, автоматизированные датчики и сети для обнаружения деформации конструкций, точное земледелие, гео-



дезия, робототехника, системы беспилотного транспорта и т.д.

Навигационный модуль функционирует в широком диапазоне температур $-40...+70^{\circ}\text{C}$. Особое значение данная разработка приобретает в связи с программой импортозамещения и задачами обеспечения независимости от импортной продукции.

Презентация приёмника состоялась на XIII Международном навигационном форуме.

Пресс-служба НТЦ «Модуль»

Fastwel

Российская электроника
для ответственных
применений

Скорость и надежность
современных технологий

CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial



CPC503



CPC508



CPC510



CPC512

ProSoft
WWW.PROSOFT.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

МОСКВА
(495) 234-0636
info@prosoft.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
(812) 448-0444
info@spb.prosoft.ru

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 356-5111
info@prosoftsystems.ru



Реклама

Перспективы развития информационно-вычислительных и радиотонных систем на базе 3D М ФЭ ПМ

Часть 2

Валерий Сведе-Швец (ooooes@mail.ru), Владислав Сведе-Швец, Станислав Сведе-Швец (Москва)

Во второй части статьи рассмотрена задача построения 3D М ФЭ ПМ с сетевой архитектурой и интеграцией оптических компонентов непосредственно на электронной плате.

Технология оптоэлектроники уже достигла успеха в ряде областей, продемонстрировав черты самостоятельного приборостроения. Уже широко используются волоконно-оптические линии связи, оптическая и голографическая память большой ёмкости, сенсоры изображения и другие устройства, однако все они являются одноканаль-

ными системами оптической передачи информации.

Компания Intel совместно с Калифорнийским университетом (University of California, Santa Barbara) продемонстрировала первый в мире гибридный кремниевый лазер с электрической накачкой, который объединяет в себе возможности излучения и

распространения света по кремниевому волноводу, а также использует преимущества низкой стоимости кремниевых производств. Создание такого устройства – это очередной шаг на пути к получению кремниевых чипов, содержащих десятки и даже сотни дешёвых лазеров, которые в будущем составят основу компьютерной электроники.

Кремниевая фотонная технология становится реальностью, а полупроводниковые микросхемы с интегральными микролазерами позволяют создавать 3D-процессоры с бесконтактными и волоконными многоканальными фотонными связями, осуществляя обмен данными как внутри, так и снаружи ПК с большой пропускной способностью.

Фотонные пространственные соединения в архитектурах вычислительных устройств и систем имеют ряд преимуществ по сравнению с электронными соединениями, основными из которых являются:

- отсутствие электрического проводника, позволяющее осуществлять эффективные пространственные соединения «кристалл – кристалл», «плата – плата»;
- отсутствие взаимного влияния при пересечении лучей света в пространстве;
- возможность сосуществования в одном пространстве нескольких каналов с высокой пропускной способностью;
- параллельная природа светового потока и способность к объединению, обеспечивающие создание гибких параллельных архитектур;
- отсутствие возможности перехватывать информацию в связи с отсутствием излучения оптической системы в окружающую среду;
- устойчивость к электромагнитным помехам.

Все эти преимущества достигаются благодаря тому, что в качестве носителя информации используются фотоны, а не электроны.

Реализация эффективного фотон-электронного интерфейса, обеспечивающе-

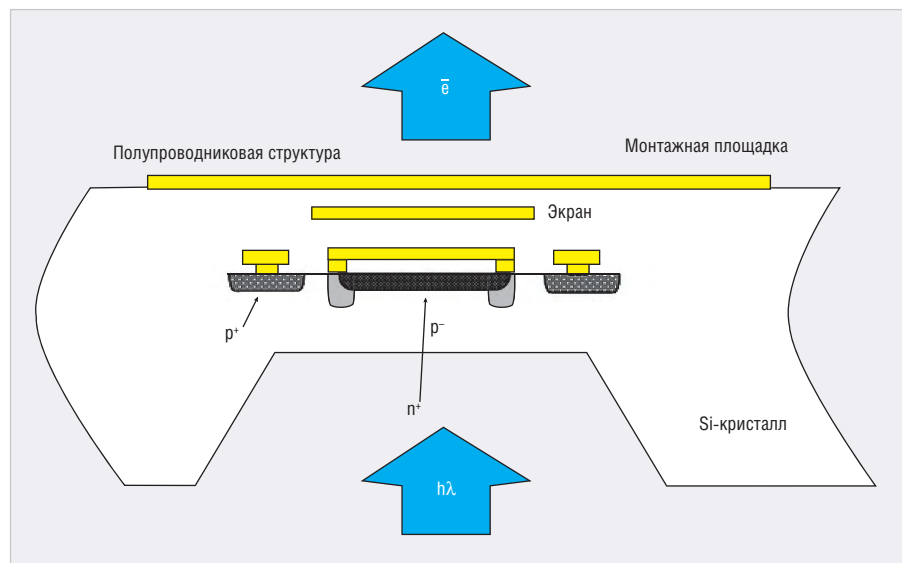


Рис. 9. Фотонный и электронный ввод-вывод информации в Si-кристалл

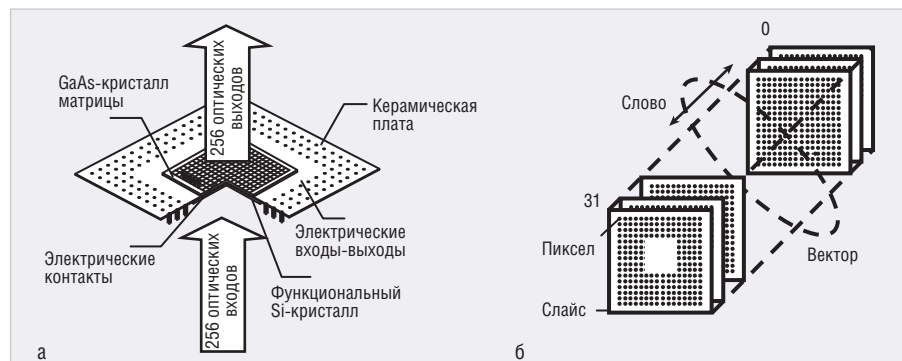


Рис. 10. Архитектура устройств на базе 3D М ФЭ ПМ: а) связь в 3D М ФЭ ПМ; б) организация «вертикальной обработки»

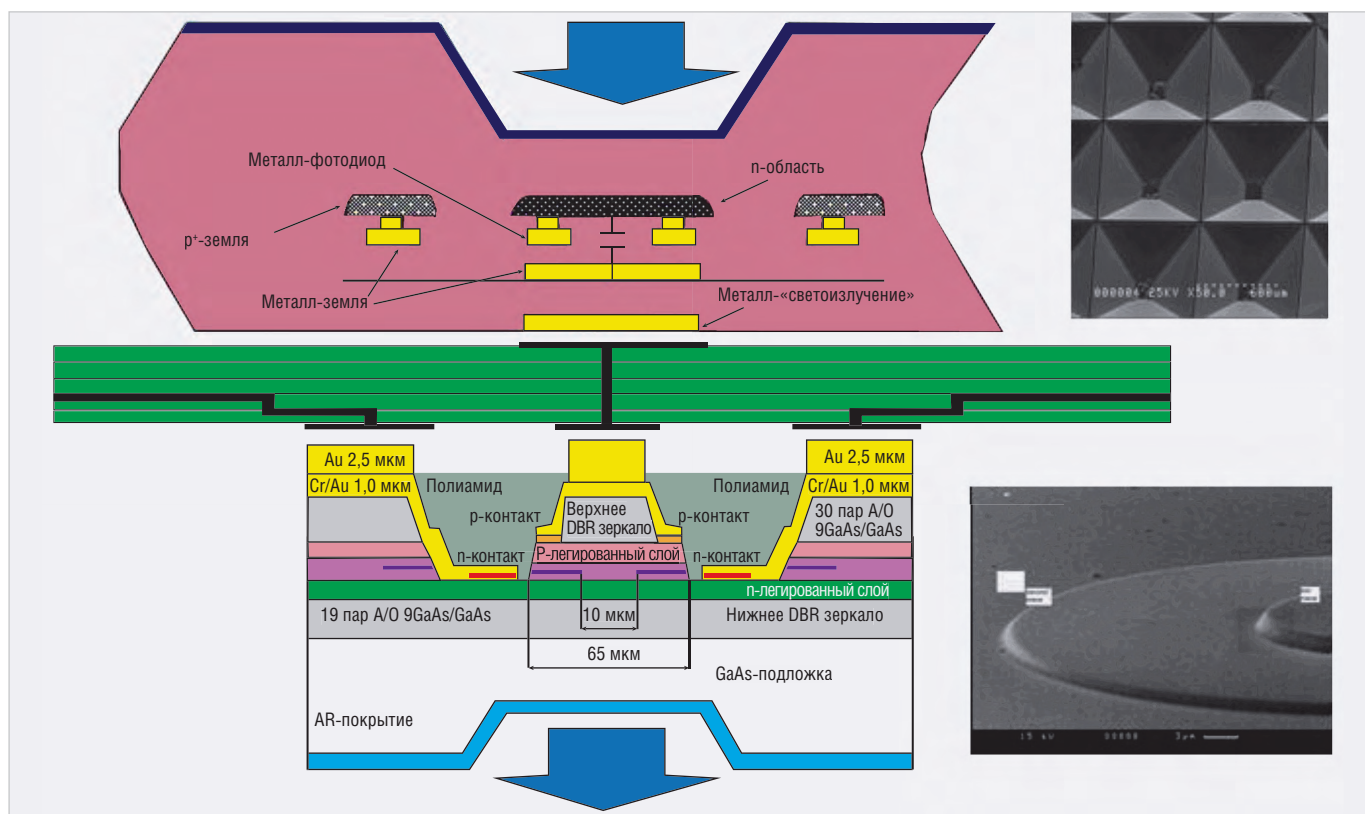


Рис. 11. 3D М ФЭ СБИС и 3D М ЭФ СБИС на LTCC-плате 3D М ФЭ ПМ

го многоканальный ввод-вывод информации в интегральную схему, возможна, если для его организации используются обе поверхности кристалла (см. рис. 9).

Организация фотонного и электронного ввода-вывода информации с использованием двух сторон кристалла позволяет перейти к разработке кремниево-фотонной объёмной (3D) технологии и созданию многоканальных фотон-электронных соединений на уровнях «чип – чип», «плата – плата», «распределённая объектовая связь» (см. рис. 10).

ООО «ОЭС» сформулировало ряд базовых принципов кремниево-фотонной технологии для создания 3D М ФЭ ПМ. Она включает следующие процессы и этапы конструкторско-технологического проектирования и изготовления:

- проектирование высокопроизводительного матричного 3D М ФЭ ПМ с

3D М ФЭ СБИС и управляющим микропроцессором;

- проектирование и изготовление 3D М ФЭ СБИС по кремниевой технологии кристаллов матричных ПЭ с фотонными аналоговыми и цифровыми электронными многоканальными связями;
- проектирование и изготовление 3D М ЭФ СБИС по арсенид-галлиевой технологии кристаллов матричных лазеров с поверхностным излучением фотонов;
- выбор управляющего микропроцессора и полупроводниковой памяти;
- проектирование и изготовление многоканальных линзовых растров, оптических призм и корпусов для многоканальной фотонной связи;
- проектирование и изготовление разъёмов с многоканальными оптическими волокнами;

- проектирование и изготовление многослойной LTCC-платы для 3D М ФЭ ПМ;
- сборка, проверка и паспортизация 3D М ФЭ ПМ.

В 3D М ФЭ ПМ реализуются многоканальные фотонные и электронные связи.

Кристаллы 3D М ФЭ СБИС и 3D М ЭФ СБИС по технологии «кристалл-на-плате» монтируются с двух сторон на LTCC-платы 3D М ФЭ ПМ (см. рис. 11) и закрываются герметичным корпусом с многоканальными оптическими линзовыми растрами. Базовая конструкция модуля 3D М ФЭ ПМ представлена на рисунке 12.

Функциональные матричные 3D М ФЭ СБИС, применяемые в 3D М ФЭ ПМ:

- 3D М ЭФ СБИС ПЛ (см. рис. 13) – электрон-фотонная матрица лазерных диодов поверхностного излучения

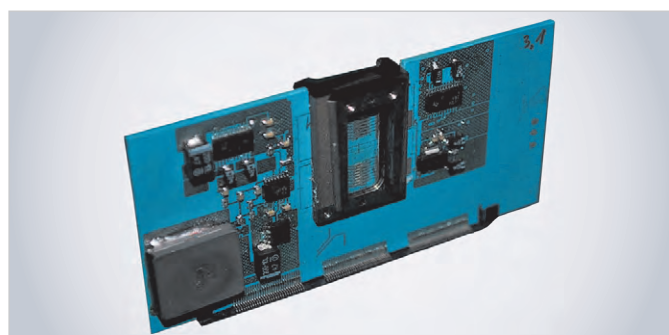


Рис. 12. Базовая конструкция модуля 3D М ФЭ ПМ

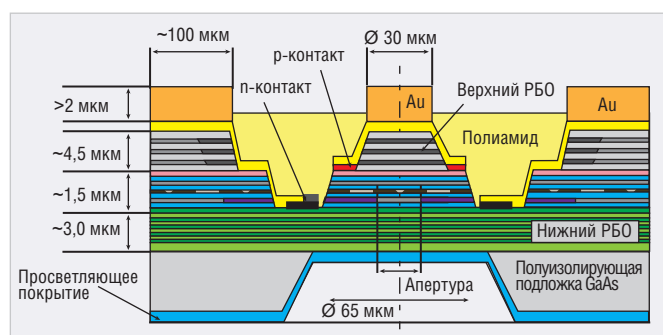


Рис. 13. Структурная схема 3D М ЭФ СБИС ПЛ

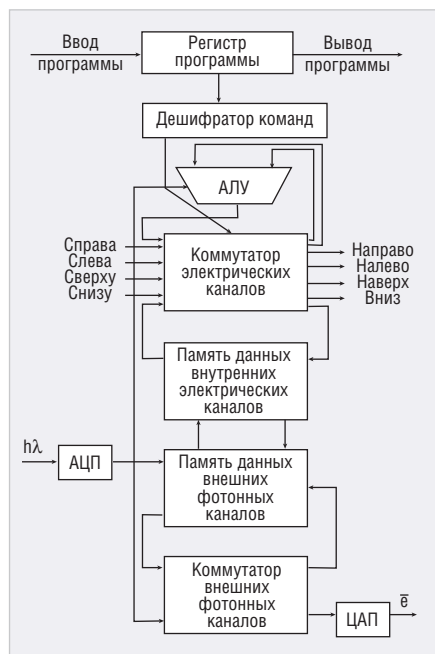


Рис. 14. Структура ПЗ реконфигурируемой 3D М ФЭ СБИС МП

для генерации многоканальных фотонных сигналов;

- 3D М ФЭ СБИС МП (см. рис. 14–16) – фотон-электронная матрица ПЭ обеспечивает многоканальный АЦП-приём и выдачу фотонных сигналов, цифровую обработку сигналов, функциональную обработку, хранение и коммутацию данных, внутренний и внешний обмен информацией по

фотонным и электронным каналам с высокой пропускной способностью;

- 3D М ФЭ СБИС НК – фотон-электронная матрица неблокируемой коммутации фотонных и электрических каналов – маршрутизатор аэрокосмического стандарта SpaceWire.
- Состав, технические характеристики и функции 3D М ФЭ СБИС ПЛ:
- формат интегральной матрицы лазерных диодов – 8×8;
- количество фотонных независимых каналов излучения – 64;
- скорость модуляции – до 40 ГГц;
- длина волны фотонного излучения – 850...970 нм;
- пороговый ток – 0,29 мА;
- дифференциальная эффективность $N=0,7$ Вт/А;
- последовательное сопротивление $R=250$ Ом;
- пороговое напряжение $U=2$ В;
- модуляция импульсно-кодовая с непосредственной модуляцией мощности фотонного излучения с помощью АЦП/ЦАП;

управление – каналное с непосредственной выборкой.

Состав, технические характеристики и функции 3D М ФЭ СБИС МП:

- технология изготовления интегральных кристаллов – КМОП – 90/42 нм;
- формат матрицы ЭП с фотодиодами – 8×8;

- количество пикселей ЭП – 64;
- базовая операция – умножение с аккумулярованием;
- основная функция – квадратичная;
- запись, хранение и выдача слайсов и слов информации из внутренней памяти;
- выполнение операций клеточной логики над слайсом памяти;
- копирование слайса памяти по адресу;
- транзит слайсов;
- операция перестановки слов информации путём копирования из ячейки с одним адресом в ячейку с другим адресом;
- канальная пропускная способность аналого-цифрового фотон-электронного импульсного интерфейса более 3,2 Гбит;
- пропускная способность матрицы более 409,6 Гбит;
- импульсный фотонный аналого-цифровой интерфейс – 28×200 МГц;
- электронный процессорный интерфейс, параллельная шина EMIF.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями АЦ-преобразователей:

- формат матрицы – 8×8;
- количество фотонных каналов ввода – 64;
- количество фотонных каналов вывода – 64;
- электронный интерфейс – 64 бит;

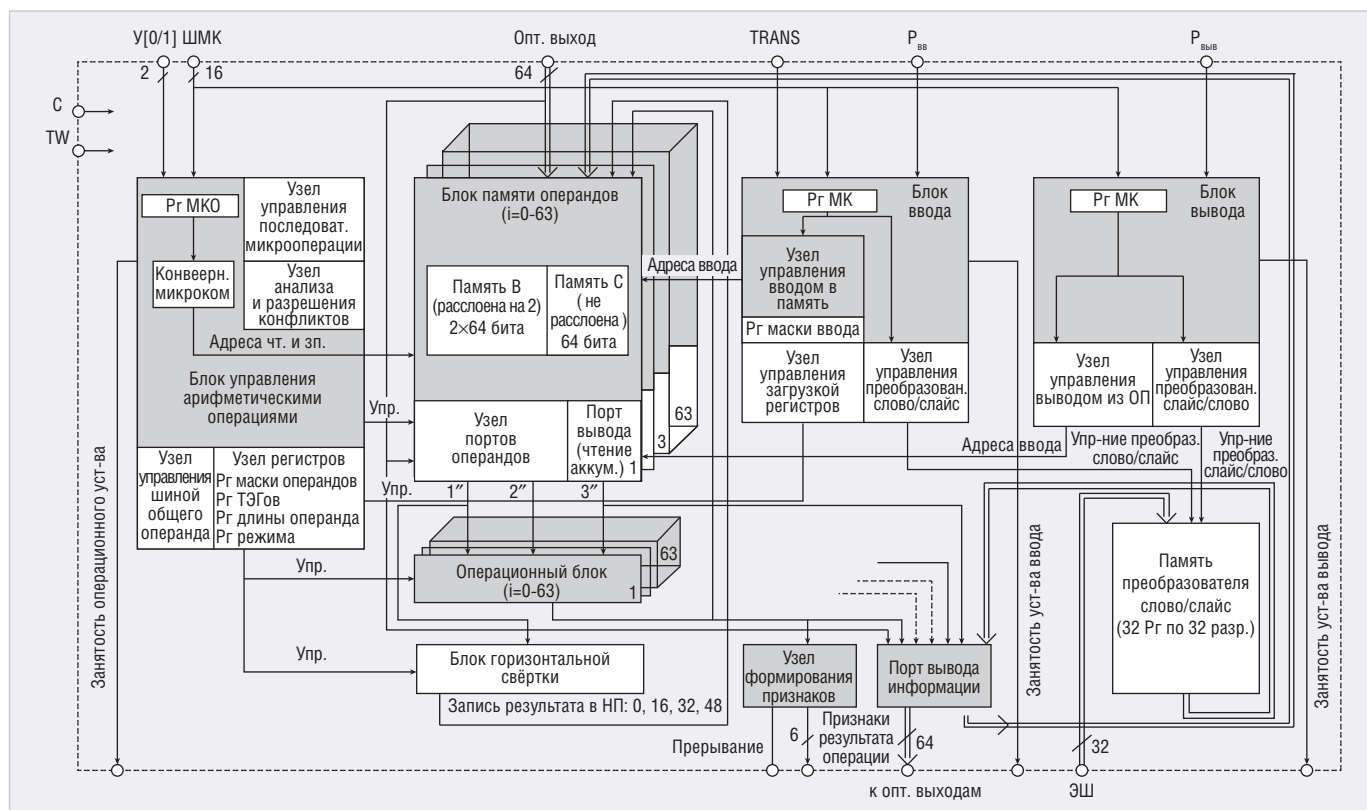


Рис. 15. Структурная схема 3D М ФЭ СБИС МП

- скорость электронного ввода/вывода – до 200 МГц;
- скорость фотонного ввода/вывода – до 200 МГц;
- виды многоканальной связи: фотон-фотонная (транзит), фотон-электронная, электронно-фотонная;
- модуляция – импульсно-кодовая с непосредственной демодуляцией мощности фотонного излучения;
- управление – слайсовое с последовательной выборкой цифровых данных матрицы.

Каждый пиксель фотонного канала ввода/вывода включает:

- ИК приёмный фотодиод;
- усилитель-преобразователь фототока в напряжение;
- 8-разрядный АЦП выходного напряжения усилителя-преобразователя;
- 8-разрядный ЦАП с токовым выходом на излучающие лазерные диоды;
- 8-разрядный регистр данных с интерфейсом ввода/вывода;
- контактные площадки токового выхода и общего катода для монтажа лазерных диодов.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями ПФ:

- матрица из 64 8/16/32-битных пиксель-процессоров ЦОС с последовательным фотонным входом/выходом;
- контроллер 64-разрядной шины EMIFA для связи со скалярным процессором управления;
- контроллер внешней памяти;
- межпиксельный коммутатор;
- реализация разнообразных алгоритмов ЦОС, содержащих операции сложения, вычитания, умножения, сдвигов, логические операции;
- вычисления прямого и обратного БПФ до 1024 точек, разрядность – 8, 16, 32 бита;
- моделирование нейронных сетей, базовые нейрооперации умножения с аккумулярованием и вычитания нелинейной функции активации, разрядность – 8, 16, 32 бита;
- вычисление КИХ-фильтра 8 бит / 128 отсчётов, 16 бит / 64 отсчёта, 32 бита / 32 отсчёта, возможность каскадирования нескольких пикселей для увеличения числа отсчётов КИХ-фильтра;
- квадратурная модуляция 8-, 16- или 32-входного сигнала;
- получение и обработка выходных данных других пикселей;
- цифровой синтез сигналов.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями НП:

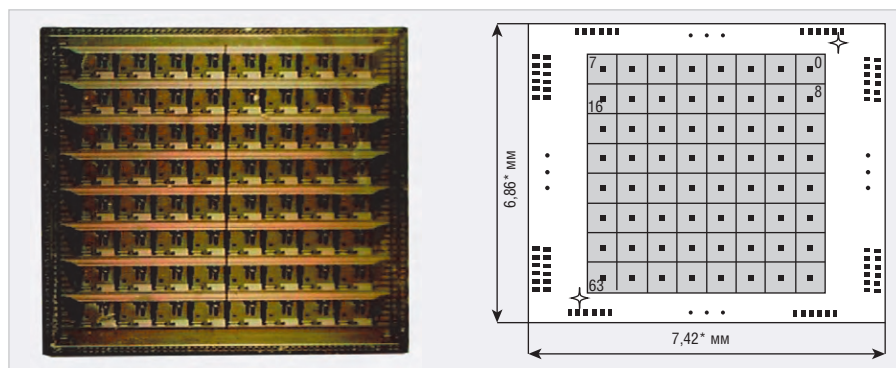


Рис. 16. Внешний вид 3D М ФЭ СБИС МП

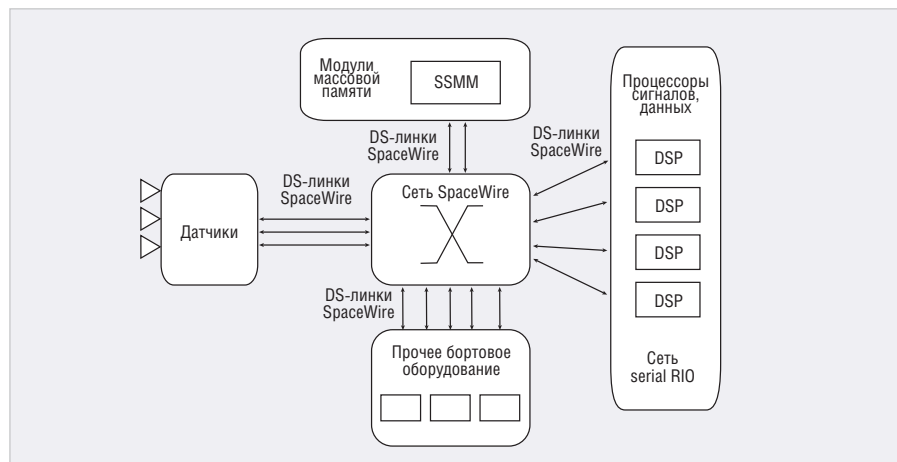


Рис. 17. Системная интеграция комплекса оборудования на основе SpaceWire

- осуществление обмена данными по двум интерфейсам;
- реализация коммутации 64 процессоров, каждый из которых имеет внутреннюю память;
- одновременная послайсовая обработка 64 процессорами 64 пар исходных операндов (целочисленная арифметика) под управлением общей микрокоманды (микрокоманда загружается из центрального устройства управления по разделяемой 16-разрядной шине микрокоманд три такта и совмещена с выполнением предыдущей микрокоманды);
- введение в состав каждого пикселя акселератора умножения, частично реализующего матричное умножение, который позволяет умножить два числа за $2n$ тактов;
- выполнение акселератором умножения также нейроопераций вычисления монжева и евклидова расстояния;
- введение внутри каждого из подмассивов общего сумматора для быстрого сложения аккумуляторов.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями НП:

- запись, хранение и выдача слайсов и слов информации из внутренней памяти;

- выполнение операции клеточной логики по двум различным шаблонам над слайсом памяти в виде матрицы 8×8 ;
- выполнение ряда логических операций над слайсами памяти;
- копирование слайса памяти из одного адреса в другой;
- транзит слайсов;
- выполнение операции перестановки слов информации путём копирования из ячейки с одним адресом в ячейку с другим адресом;
- маскируемое копирование слов памяти, предназначенное для реализации команды сборки/разборки по маске;
- генерация нулевого или единого слайса.

Состав, технические характеристики и функции 3D М ФЭ СБИС НК:

- функционирование в соответствии с протоколом SpaceWire (см. рис. 17);
- формат матрицы интеллектуальных пикселей – 8×8 ;
- тип модуляции – DS-кодирование;
- количество фотонных каналов ввода – 64;
- количество электронных драйверов вывода для подключения лазерных диодов с поверхностным фотонным излучением – 64;

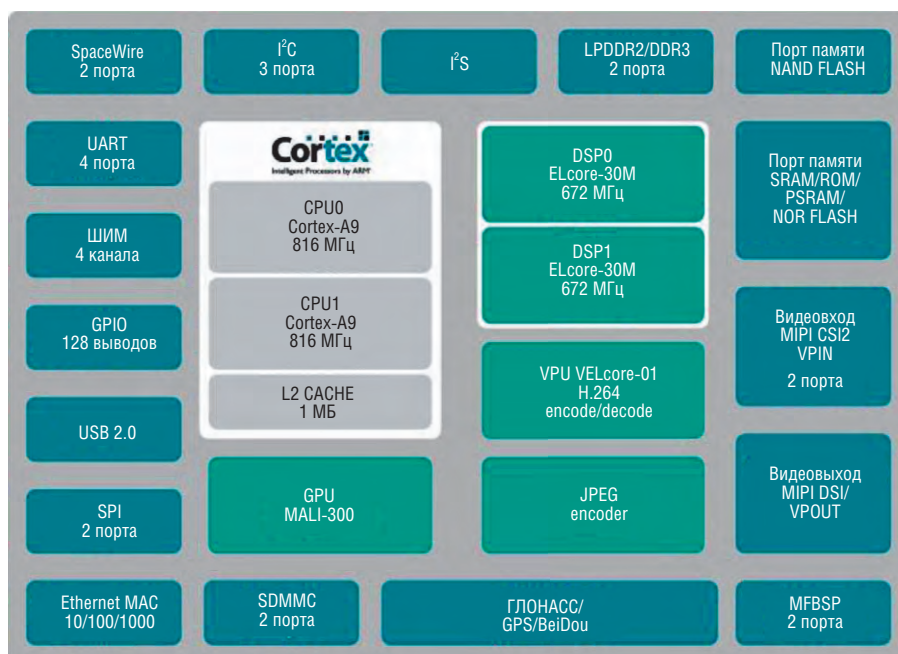
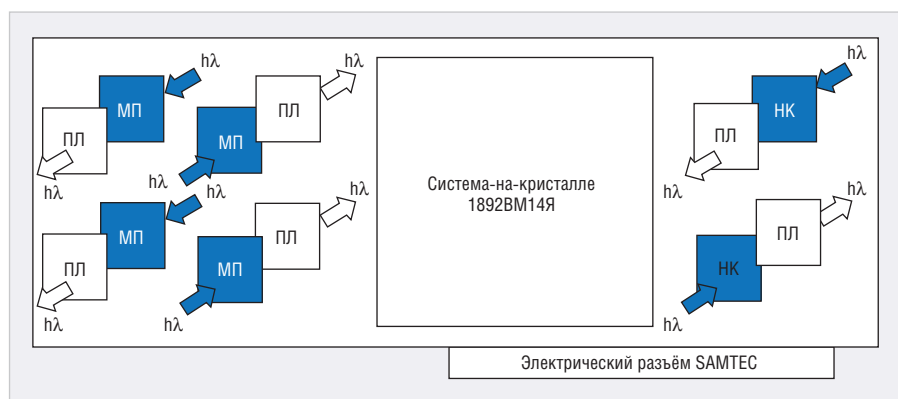


Рис. 18. Система-на-кристалле 1892BM14Я



Примечание: ПЛ – матрица параллельных лазеров (3D ФЭ СБИС ПЛ), МП – матрица матричных процессоров (3D М ФЭ СБИС МП), НК – матрица неблокирующих коммутаторов (3D М ФЭ СБИС НК)

Рис. 19. Конструкция базового 3D М ФЭ ПМ

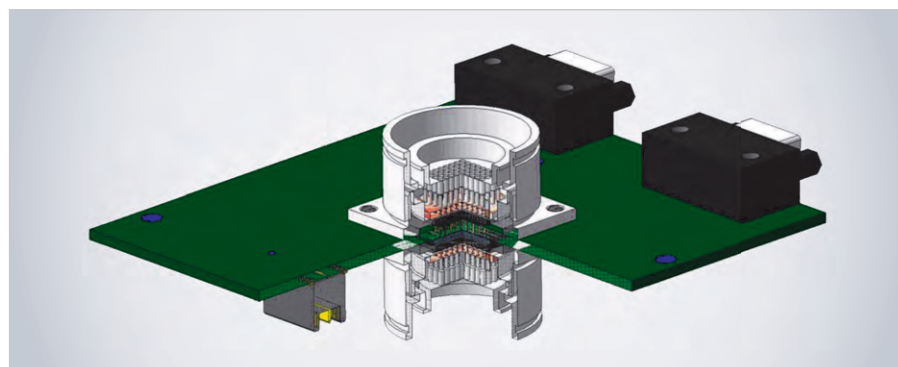


Рис. 20. Электрические и ВОЛС-разъёмы 3D М ФЭ ПМ

- количество фотонных коммутируемых SpaceWire-каналов – 32;
- количество электронных коммутируемых SpaceWire-каналов – 2;
- скорость фотонных SpaceWire-каналов ввода/вывода – до 400 МГц;
- скорость электронных SpaceWire-каналов ввода/вывода – до 400 МГц;
- электронная шина управления EMIFA. Состав, технические характеристики и функции системы-на-кристалле 1892BM14Я (см. рис. 18):
- процессор 1892BM14Я;
- CPU 2xARM Cortex-A9, до 816 МГц;
- DSP 2xELcore-30M, до 672 МГц;
- кодек H.264;

- GPU Mali-300;
- ОЗУ DDR3, 32 бит, 2 Гб;
- NAND 4 Гб;
- eMMC 32 Гб;
- USB 2.0;
- Ethernet 10/100/1000;
- SpaceWire (2 порта);
- видеовходы: TTL 12 бит, MIPI CSI2 4 lanes (2 порта);
- видеовыходы: TTL RGB 24 бит, MIPI DSI 4 lanes;
- аудиовходы: для микрофона, линейный;
- аудиовыходы: для наушников, линейный;
- прочие интерфейсы: SDMMC, I²S, I²C (3 порта), UART (4 порта), SPI (2 порта), PWM (4 канала), MFBSP (LPORT, SPI, I²S, GPIO), GPIO (до 116 портов).

Конструктивные единицы базового 3D М ФЭ ПМ (см. рис. 19):

- мезонинная LTCC-плата для монтажа компонентов 3D М ФЭ ПМ;
- 3D М ФЭ СБИС МП – 4 кристалла;
- 3D ФЭ СБИС ПЛ – 4 кристалла;
- корпус 3D М ФЭ КП с линзовыми растрами – 1 шт.;
- 3D М ФЭ СБИС НК – 2 кристалла;
- 3D М ФЭ КЦ – корпус цилиндрический с линзовыми растрами – 2 шт.;
- 3D М ФЭ ОМ – оптический призмный мультиплексор – 2 шт.;
- система-на-кристалле 1892BM14Я – 1 шт.;
- многоканальный электрический разъём для электрического питания и функциональных электрических интерфейсов – 1 шт.

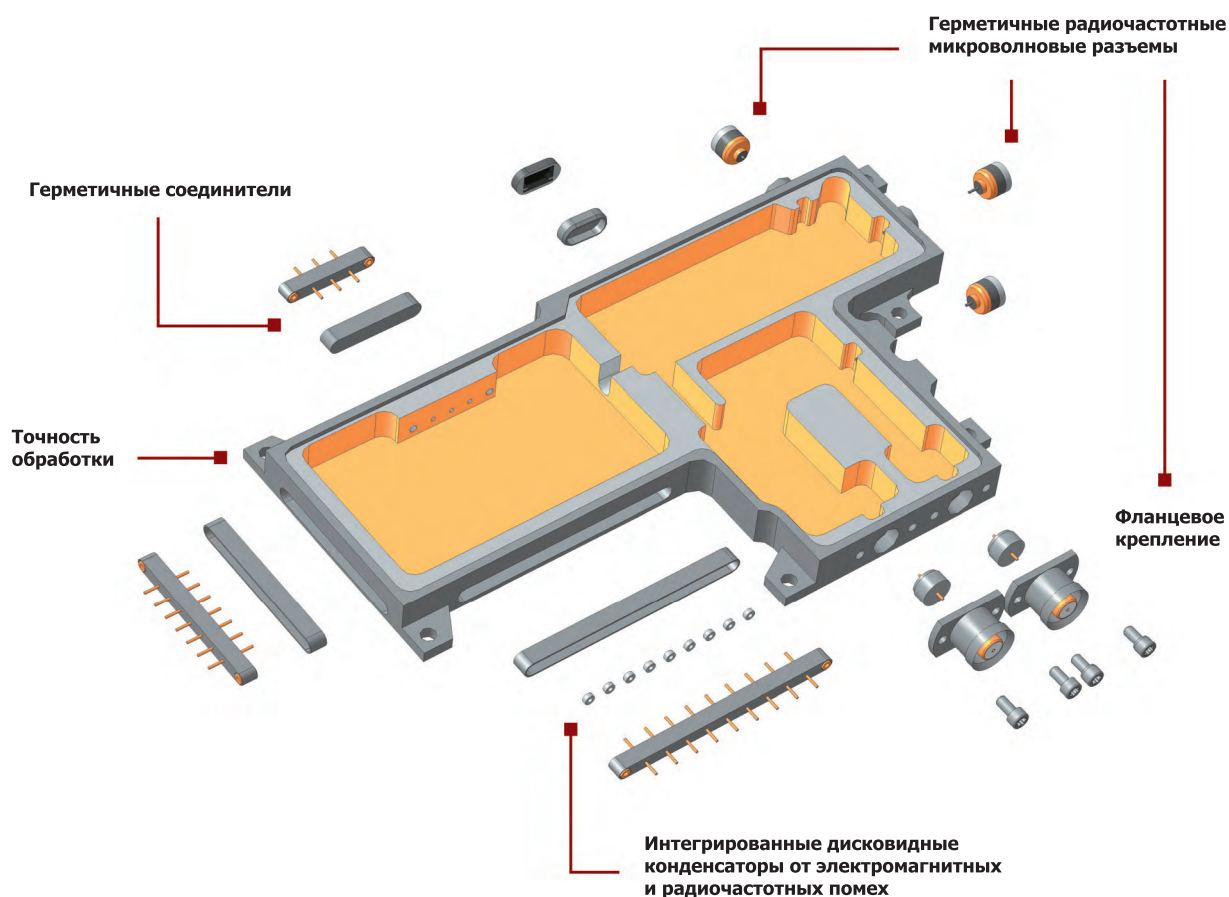
3D М ФЭ ПМ позволяет реализовать режим потоковой вертикальной обработки информации, поступающей по многоканальным фотонным каналам, «на проходе», без промежуточного её хранения.

Электронные интерфейсы 1892BM14Я позволяют 3D М ФЭ ПМ непосредственно сопрягаться с процессорными модулями и датчиками, а фотонные интерфейсы – связываться с удалёнными 3D М ФЭ ПМ через волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) (см. рис. 20).

Применение в самолёте ВОЛС вместо электрических кабелей для функциональной приборной связи позволяет облегчить его конструкцию почти на 6 тонн.

В третьей части статьи будут представлены высокопроизводительные информационно-вычислительные и радиофотонные системы на базе 3D М ФЭ ПМ с сетевой архитектурой.

КОРПУСА ДЛЯ ВЧ И СВЧ ПРИМЕНЕНИЯ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ ЗАКАЗЧИКА

ТЕСТПРИБОР

АО «ТЕСТПРИБОР»
125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А,
тел./факс: (495) 657-87-37,
tp@test-expert.ru,
www.test-expert.ru

Изготовление пассивной части плат ГИС СВЧ с использованием толсто- и тонкоплёночной технологий металлизации

Юрий Непочатов (nuk3d@mail.ru)

В статье рассмотрена схема изготовления пассивной части плат гибридных интегральных схем сверхвысокочастотного диапазона по комбинированной технологии, когда обратная сторона подложки и торцы металлизуются методом трафаретной печати, а на лицевую сторону вакуумным термическим испарением наносятся резистивные и проводящие слои. Кроме того, проанализированы различные составы металлизационных паст, представлены экспериментальные данные по измерению потерь в микрополосковых линиях на платах, изготовленных по описанной технологии, и даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию технологии изготовления плат ГИС СВЧ.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили гибридные интегральные схемы сверхвысокочастотного диапазона (ГИС СВЧ), которые являются основными изделиями электронной техники СВЧ-диапазона. Конструктивно ГИС СВЧ представляет собой плату с топологическим рисунком из плёночных пассивных элементов и контактных площадок с размещёнными на них навесными элементами [1]. Особенностью ГИС СВЧ является то, что в состав топологического рисунка плат входят компоненты, специфичные для данного диапазона, например направленные ответвители, фильтры, различные согласующие элементы, резисторы, конденсаторы, индуктивности и т.д. Основными путями совершенствования ГИС СВЧ являются улучшение электрических характеристик, снижение массы и габаритов, улучшение тепловых режимов работы, повышение надёжности, технологичности, снижение стоимости. Именно с этих позиций следует оценивать различные конструкции и технологии изготовления ГИС СВЧ, а также их отличия от аналогичных устройств на печатных платах. Очевидно, что ГИС СВЧ резко превосходят устройства на печатных платах по массогабаритным показателям. В настоящее время разработано и успешно применяется большое количество разнообразных конструктивно-технологических вариантов ГИС СВЧ. Классификация их может осуществляться по различным признакам и критериям: конструктивным, технологиче-

ским, по степени интеграции, физическому принципу работы активных элементов, быстродействию, по потребляемой мощности, способу применения в аппаратуре и т.д. ГИС СВЧ обычно представляет собой диэлектрическую подложку, как правило полированную с одной стороны и (с целью снижения стоимости ГИС) шлифованную с другой. На полированной поверхности подложки формируют сосредоточенные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивности и распределённые элементы схемы – микрополосковые линии (МПЛ), а на обратную, шлифованную сторону подложки наносят экранную заземляющую металлизацию. Традиционным для классификации ГИС СВЧ является признак разделения по конструкции МПЛ и их металлизационной структуре [2].

Для изготовления плёночных пассивных элементов и экранной заземляющей металлизации в ГИС СВЧ используют две технологии: толсто- и тонкоплёночную.

Толстоплёночная технология основана на механическом нанесении на подложку проводящих, диэлектрических и резистивных паст через соответствующие трафареты с последующей термической обработкой подложки с нанесёнными элементами схемы при температурах +400...+1350°C в зависимости от состава пасты и назначения термообработки. В процессе нанесения пасты происходит формирование того или иного слоя интегральной схемы. Пасты представляют собой суспензию порошков наполнителя и стекла

(фритты) в какой-либо органической связующей жидкости или растворе. Наполнитель является основой пасты и придаёт плёнкам необходимые резистивные, проводящие или диэлектрические свойства. Основные требования, предъявляемые к пастам:

- возможность нанесения их через трафарет и термообработка (вжигание);
- воспроизводимость свойств;
- хорошая адгезия к подложке;
- совместимость с другими элементами;
- соответствующие электрические свойства;
- способность к пайке и термокомпрессионной сварке.

Паста должна обладать определённой величиной вязкости. Слишком большая вязкость приводит к растеканию пасты и искажению рисунка, а слишком малая – к плохому продавливанию пасты через трафарет. В качестве наполнителей проводниковых паст используются порошки металлов и сплавов с размером частиц не более 5 мкм. Размеры и форма частиц оказывают сильное влияние на физические и электрические свойства толстых плёнок. Наполнители паст должны обладать крайне низкой химической активностью при высоких температурах в окислительной среде и при соприкосновении с химически активным стеклом, а также быть устойчивы к воздействию припоя, применяемого при монтаже пайкой. В качестве наполнителей чаще всего используются благородные металлы: золото, серебро, сплавы золото/палладий, золото/платина, серебро/палладий и др. Наряду с перечисленными наполнителями из благородных металлов для изготовления проводниковых паст применяются неблагородные металлы: медь, никель, алюминий, вольфрам, молибден. Они обеспечивают не только меньшую стоимость паст, но и, в ряде случаев, лучшие параметры и стабильность при высоких температурах. Медь, например, является единственным металлом с высокой электропроводностью, к которому можно присоединять внешние выводы как сваркой, так и пайкой. Кро-

ме того, медь имеет хорошую адгезию к керамическим подложкам, высокую теплопроводность, стойкость к выщелачиванию и радиации, хорошие свойства в диапазоне СВЧ. В качестве наполнителей резистивных паст применяются серебро, золото, палладий, платина, рений, окислы таллия, рутения, рения, палладия, а также различные композиции: серебро/палладий/оксид палладия, серебро/оксид рутения, висмут/рутения, рутений/иридий, платина/оксид иридия и др. Толстоплёночные резисторы имеют номиналы сопротивлений от 1 до 10 Ом, удельное сопротивление от 1 до $1 \cdot 10^{-8}$ Ом·м и широкий диапазон значений ТКС.

При изготовлении диэлектрических паст для конденсаторов в качестве наполнителей применяют смеси порошков керамических материалов и флюсов, а также стёкла и ферроэлектрические материалы. Например, пасты на основе композиции титанат бария / оксид титана / оксид алюминия / легкоплавкое стекло имеют диэлектрическую проницаемость от 10 до 2000.

Диэлектрики для межуровневой изоляции проводников изготавливают на основе стеклокерамических материалов. По сравнению с диэлектриками для конденсаторов они обладают меньшей диэлектрической проницаемостью.

В качестве постоянного связующего в состав паст входят стёкла, которые не удаляются после формирования плёнки и остаются в готовом плёночном элементе. В проводниковой пасте стекло служит для удерживания в контакте зёрен наполнителя и для обеспечения адгезии толстой плёнки к подложке. При выборе состава стекла необходимо учитывать зависимость его вязкости от температуры, смачивание подложки, химическую активность и коэффициент термического расширения. Эти свойства влияют на режим термообработки, образование механических связей между зёрнами металлического наполнителя, удельное сопротивление плёнки и процессы подсоединения выводов к контактным площадкам. От состава стекла в значительной степени зависит стабильность параметров резисторов. В диэлектрике, применяемом для межуровневой изоляции проводников, постоянное связующее является одновременно и основным функциональным компонентом. В диэлектрики конденсаторов стекло не должно вносить дефектов, приводящих к возникновению коротких замыканий

между обкладками. В качестве постоянного связующего применяются легкоплавкие стёкла: свинцово-боросиликатные, цинк-боросиликатные и кадмиевые.

В качестве органических связующих и растворителей паст применяется широкий набор материалов: этилцеллюлоза, воски, ланолин, вазелиновое масло, циклогексанол, жидкие смолы и органические растворители. Органические связующие и растворители вводятся для обеспечения равномерного распределения частиц порошков различных компонентов в процессе приготовления пасты, для получения определённой консистенции и для придания пасте необходимой вязкости. При нанесении пасты на подложку органические связующие полностью удаляются в процессе термообработки. При неполном удалении органических связующих в составе диэлектрика, например, остаётся углерод, который резко повышает электропроводность. Специальные добавки вводят в состав паст для улучшения адгезии, паяемости и для придания пастам тиксотропности, т.е. способности под действием механического давления увеличивать текучесть и затем после прекращения этого воздействия снова загустевать. Для придания пастам тиксотропных свойств в их состав вводят высокомолекулярные соединения, например фуранкарбоновую или терефталевую кислоты. Проводники толстоплёночных схем изготавливаются путём нанесения проводниковых паст через трафареты. Проводниковые пасты должны обеспечивать получение следующих характеристик композиции (после вжигания):

- высокую удельную проводимость во избежание заметного падения напряжения и нагрева;
- высокую адгезию плёнки к подложкой, поскольку непосредственно к ней присоединяются выводы и навесные элементы;
- возможность присоединения к поверхностям проводников монтажных проводов и навесных элементов посредством пайки или сварки;
- устойчивость к воздействиям, связанным с выполнением технологических процессов, и способность выдерживать заданные условия эксплуатации.

Проводники должны изготавливаться предельно короткими, чтобы уменьшить сопротивление схемы. Поверхностное сопротивление толстоплёноч-

ных проводников должно изменяться в пределах $0,005 \dots 0,1$ Ом/□ в зависимости от типа применяемой пасты. Для нанесения проводников необходимо использовать только одну сторону подложки. Количество пересечений должно быть минимальным, поскольку для их создания необходимы две дополнительные операции нанесения и вжигания плёнок (нанесение межслойного диэлектрика и второго проводящего слоя). Для современной технологии стандартной шириной проводника считается 0,25 мм, однако, если это необходимо, можно изготавливать полосы шириной до 0,125 мм. Такие же значения допускаются и для расстояний между проводниками.

Толщина слоя проводника, например на основе композиций палладий/серебро, составляет 10...25 мкм, минимальная ширина (длина) проводника колеблется в пределах 0,15...0,20 мм при нанесении пасты на керамику и 0,20...0,30 мм при нанесении на слой диэлектрика. Минимальное расстояние между проводниковыми элементами – 0,05...0,20 мм в зависимости от рецептурного состава пасты. Реальная точность изготовления элементов топологического рисунка по толстоплёночной технологии составляет ± 20 мкм [3]. Однако из-за слабой химической связи толстых плёнок с полированной поверхностью ухудшается точность нанесения рисунка схемы, плёнки имеют плохое сцепление с полированной подложкой, при воздействии высокой температуры ($+300^\circ$) и влажности происходит их отслаивание, при этом возрастают потери, что существенно для применения в СВЧ-диапазоне. Эти явления не наблюдаются при нанесении толстых плёнок и получении топологического рисунка на шлифованной поверхности подложки. Отмеченные недостатки ограничивают использование толстых плёнок для формирования пассивной части, особенно микрополосковых линий ГИС СВЧ в диапазоне частот выше 4 ГГц [2].

Тонкоплёночная технология основана на получении слоёв, используемых для формирования пассивных плёночных элементов, методами термического испарения исходных материалов в вакууме $1,33 \times 10^{-3} \dots 1,33 \times 10^{-4}$ Па (магнетронное или ионно-плазменное распыление мишени из исходного материала). Определённая конфигурация элементов при тонкоплёночной технологии обеспечивается методом трав-

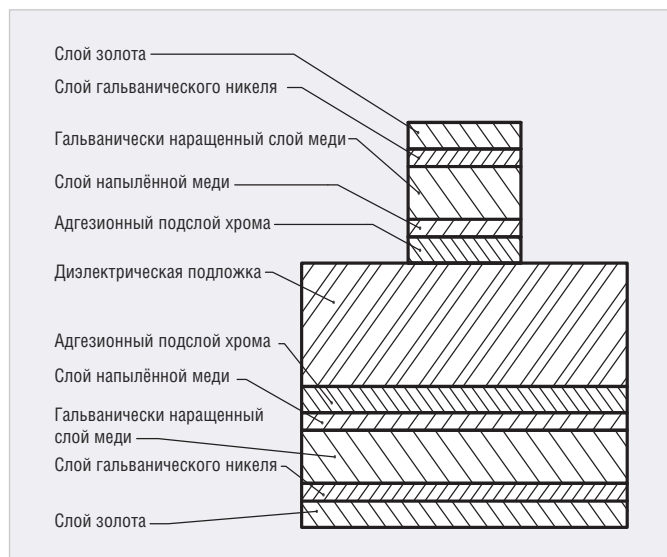


Рис. 1. Металлизационная структура проводников



Рис. 2. Технологическая схема комбинированного метода изготовления плат

ления [1]. При изготовлении плёночных элементов по обеим технологиям дополнительно применяются методы гальванического осаждения покрытий для обеспечения сварки и пайки в процессе сборки ГИС СВЧ. Тонкоплёночные ГИС СВЧ с толщиной проводников примерно 3...12 мкм, наиболее широко используемые в СВЧ-устройствах, обычно имеют сложную металлизационную структуру проводников (см. рис. 1), изготавливаемых на полированных подложках из таких материалов, как ситалл, поликор, сапфир, кварц и т.д. Тонкоплёночная технология позволяет получать более тонкие линии с шириной <20 мкм и точностью ± 3 мкм, что обеспечивает меньшие потери в сравнении с толстоплёночной. В связи с этим они используются на частотах до 30 ГГц и выше. Тонкоплёночные ГИС обеспечивают более высокую плотность монтажа и, следовательно, позволяют получить микросхемы с лучшими электрическими, массогабаритными и другими характеристиками [2].

Технологическая схема формирования пассивной части ГИС СВЧ включает следующие основные операции:

- химическая обработка подложек перед напылением;
- напыление резистивного слоя (одного или более);
- напыление контактных площадок;
- напыление проводящих слоёв меди на обе стороны подложки;
- фотолитография;
- гальваническое наращивание слоя меди;
- гальваническое осаждение слоя никеля;

- гальваническое осаждение слоя золота.

Перечисленные техпроцессы формирования пассивной части ГИС СВЧ позволяют реализовать сложные радиотехнические схемы, содержащие как низкоомные, так и высокоомные резисторы, микрополосковые линии на основе металлизационной структуры Cr, Cu, Ni, Au и контактные площадки для размещения навесных конденсаторов и транзисторов. Однако фотолитографические процессы имеют следующие особенности:

- напыляемый на обратную шлифованную поверхность подложки слой меди получается пористым, легко пропускает растворы на основе соляной кислоты, вследствие чего происходит травление нижнего подслоя хрома и ухудшение адгезии;
- при гальваническом осаждении слоёв никеля и золота наблюдается пitting, из-за чего отсутствует адгезия золотого покрытия к никелевому и имеются проколы в напылённых слоях до поверхности керамической подложки, обусловленные её шероховатостью и дефектностью; при этом изготавливаемые ГИС СВЧ имеют низкий выход годных изделий.

Постановка задачи

Изготовление ГИС СВЧ по толстоплёночной технологии на полированной стороне обеспечивает возможность получения высокоомных (до 100 МОм) резисторов со стабильными параметрами при приемлемом разрешении проводящих линий. Однако данным способом невозможно изготовить схему с хорошими адгезионными свойства-

ми, поскольку для обеспечения высокой адгезионной прочности толстоплёночных покрытий требуется керамика с шероховатой поверхностью с размером микронеровностей 0,63 мкм и большим содержанием стекла (4–6%), а для тонкоплёночных покрытий – полированная керамика, имеющая высокий класс чистоты обработки поверхности подложки, с размером микронеровностей 0,02 мкм и малым содержанием стекла (0,1–0,3%).

Задачей настоящей работы является устранение противоречий между требованиями к тонким и толстым плёнкам при изготовлении ГИС СВЧ за счёт того, что на полированной стороне керамической подложки по тонкоплёночной технологии изготавливаются резисторы, МПЛ, контактные площадки, межсоединения и резисторы требуемых номиналов, а по толстоплёночной – экранный заземляющий слой на обратной шлифованной стороне. Такой метод изготовления ГИС СВЧ предъявляет более жёсткие требования к параметрам материалов, допускающих их совместное использование на одной подложке для получения металлизационных структур из тонких и толстых плёнок. Другой задачей является разработка технологии изготовления ГИС СВЧ, в соответствии с которой нижняя поверхность подложки металлизирована с помощью трафаретной печати (сеткографии) и служит заземляющим экранным слоем, а на верхнюю методом вакуумного напыления наносятся тонкоплёночные резисторы, контактные площадки, конденсаторы и межсоединения. Для соединения заземляющей нижней сторо-

Таблица 1. Физические свойства металлов

Металл	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, 10^{-8} Ом·м	КТР, $10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ в интервале температур +20...+200°С
Молибден	2610	5,2	54
Вольфрам	3380	5,5	46
Никель	1453	7,24	144
Медь	1083	1,72	165
Золото	1063	2,42	145
Серебро	961	1,6	191
Платина	1769	10,6	90
Палладий	1552	10,8	110

ны с верхней частью подложки по её краям (торцам) с помощью сеткографии наносится толстоплёночный соединительный проводящий слой.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов для исследования возможности изготовления плат ГИС СВЧ комбинированным методом были использованы подложки из керамики ВК-94 (22ХС) и ВК-100 размером 30×48×1 мм, у которых лицевая сторона полировалась до получения микронеровностей порядка 0,02 мкм, а обратная до получения микронеровностей 0,63 мкм. На лицевой отполированной стороне подложки при помощи установки магнетронного напыления формировалась металлизационная структура Cr, Cu согласно технологической схеме формирования пассивной части ГИС СВЧ, после чего методом фотолитографии изготавливался топологический рисунок, а на обратную (отшлифованную) сторону подложки методом трафаретной печати наносился сплошной заземляющий металлизационный слой по толстоплёночной технологии. Технологическая схема комбинированного метода изготовления плат представлена на рисунке 2.

Для металлизации обратной стороны плат были опробованы пасты на основе молибдена с различными добавками. Металлизационный слой должен иметь высокую электропроводность и хорошую адгезию к поверхности подложки. Сопротивление МПЛ, изготавливаемых по толстоплёночной технологии методом сеткографии, главным образом определяется электропроводностью компонентов металлизационного слоя. При выборе материалов пасты для МПЛ металлическая составляющая должна гарантировать максимальную электропроводность, а темпе-

ратура плавления слоя должна обеспечивать возможность его вжигания на шлифованной стороне керамической подложки.

В таблице 1 приведены данные о физических свойствах некоторых металлов.

Из тугоплавких металлов наименьшим омическим сопротивлением характеризуется молибден, который и был взят в качестве основного компонента проводящего слоя ГИС СВЧ на шлифованной стороне подложки. Было исследовано влияние добавок в пасту, содержащую Mo, меди с низким удельным сопротивлением, кремния, стекла и MnTiO_3 . Серебро и золото характеризуются наименьшим омическим сопротивлением, однако золото повышает стоимость проводников для ГИС СВЧ, а серебро снижает их долговечность, поэтому основная часть экспериментов проводилась с медью. В качестве добавки была использована более дешёвая медь и её закись, которая при обжиге восстанавливается до металла. Паста готовилась следующим образом: порошок Mo с добавкой 15% (вес.) MnTiO_3 и 5–20% (вес.) меди или закиси меди с величиной зерна 1...1,5 мкм смешивали с 20% (вес.) органической связки из смеси ланолина и циклогексанола. Полученные составы наносили на керамическую подложку методом сеткографии в виде дросселя (см. рис. 3) для определения электросопротивления проводников для ГИС СВЧ. Обжиг заготовок проводился в формирующей газе при температуре +900°С и окончательно при температуре +1330...+1350°С. Таким же способом наносили пасту на обратную сторону подложки.

Сначала проводилось исследование металлизационных составов с добавкой 5–15% (вес.) закиси меди (процентное соотношение даётся в пересчёте на чистую медь). Проводники в виде дрос-

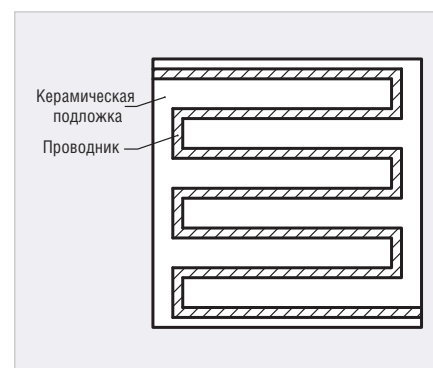


Рис. 3. Образец для определения электросопротивления проводника

Таблица 2. Сопротивление образцов проводников в виде дросселя в зависимости от состава металлизационных паст

Состав металлизационной пасты, % (вес.)	Сопротивление проводниковой линии в виде дросселя, Ом
20Mo+5Mn+70Ni+5 стекла	17,4
85Mo+15MnTiO ₃	10,4
80Mo+15MnTiO ₃ +5Cu	8,7
75Mo+15MnTiO ₃ +10Cu	8,0
70Mo+15MnTiO ₃ +15Cu	5,2
65Mo+15MnTiO ₃ +20Cu	8,8

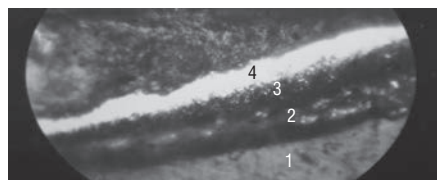
селя (змейки) готовили из пасты Mo, Mn с 2%-м содержанием Si, Mo-пасты с добавкой MnTiO_3 и добавками закиси меди. Длина дросселя составляла 68 мм, ширина – 180 мкм, толщина – около 25 мкм. Замеры сопротивления проводили на приборе типа МО-62 с погрешностью не более 0,1%. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таким образом, как показывают результаты экспериментов, введение меди в состав металлизационной пасты обеспечивает снижение электросопротивления проводникового слоя металлизации в 1,2–2 раза по сравнению с известным составом без этих добавок. При этом электросопротивление проводников остаётся практически неизменным после испытаний в течение 2000 ч при $T=+155^{\circ}\text{C}$ и напряжении 300 В. Уменьшение электросопротивления проводников при добавлении в металлизационный состав меди можно объяснить следующим образом: медь, обладающая малым удельным сопротивлением, плавится при обжиге и заполняет поры в покрытии, образуя при этом непрерывную проводящую структуру с меньшим сопротивлением.

Увеличение электросопротивления проводника при введении 20% меди, очевидно, связано с тем, что при вжи-

Таблица 3. Адгезионная прочность металлизационных слоёв из различных паст

Состав металлизационной пасты	Адгезионная прочность, кг/см ²
Mo, стекло	300
Mo, Mn, Si, Cu	320
Mo, Mn, Si	250
Mo, Cu, стекло	330
Mo, Mn TiO ₃ , Cu	220



Примечание: 1 – керамика; 2 – металлизационный слой, нанесённый трафаретной печатью (сеткографией); 3 – слой никеля, осаждённый гальваническим способом; 4 – слой золота, осаждённый гальваническим способом.

Рис. 4. Микрошлиф торцевой части керамической подложки с нанесённым заземляющим проводником

гании пасты при $T=+1360^{\circ}\text{C}$ происходит более глубокое взаимодействие компонентов керамики в результате увеличения количества легкоплавкого компонента – меди.

На отшлифованную поверхность подложки также методом сеткографии наносили сплошной заземляющий слой из уже описанных паст и определяли адгезионную прочность на отрыв.

В таблице 3 представлены данные по адгезионной прочности металлизационных слоёв из различных паст.

Как видно из таблицы, наибольшей адгезионной прочностью обладает паста на основе Mo, Cu и стекла. В ГИС СВЧ большое значение имеет величина потерь СВЧ-энергии в микрополосковых линиях, в связи с чем проводились измерения этих потерь в металлизационных структурах, полученных толстоплёночным, тонкоплёночным и комбинированным (с лицевой стороны подложки – напыление, с обратной – трафаретная печать) методами. Для создания работоспособных плат ГИС СВЧ потери СВЧ-энергии в металлизационных структурах должны быть минимальными.

Измерения затухания мощности проводились на тест-платах (см. рис. 3) с помощью автоматического измерителя $K_{\text{свч}}$ типа P2-47 в диапазоне частот 600–1200 МГц на фиксированных частотах через 200 МГц.

Были изготовлены тест-платы с различной металлизационной структу-

Таблица 4. Потери СВЧ-энергии в различных металлизационных структурах

Металлизационная структура	Сопротивление на постоянном токе, Ом	Потери СВЧ-энергии на частотах, дБ				Примечание
		600 МГц	800 МГц	1000 МГц	1200 МГц	
Cr, Cu; покрытие Au с двух сторон	1,42	0,33	0,53	0,81	0,39	Напыление с двух сторон
Cr, Cu; покрытие Au с лицевой стороны, Sn, Bi – с обратной	1,73	0,58	0,73	0,74	0,76	Напыление с двух сторон
Mo, стекло; покрытие Au с лицевой стороны, Sn, Bi – с обратной	8,14	3,43	3,45	3,69	3,71	Сеткография с двух сторон
Mo, Cu, стекло; покрытие Au с лицевой стороны, Sn, Bi – с обратной	5,71	3,39	3,36	3,47	3,54	Сеткография с двух сторон
Mo, Mn, Si; покрытие Au с лицевой стороны, Sn, Bi – с обратной	7,46	3,32	3,29	3,333	3,69	Сеткография с двух сторон
Mo, Mn, Si, Cu; покрытие Au с лицевой стороны, Sn, Bi – с обратной	6,16	2,84	2,84	3,05	3,18	Сеткография с двух сторон
Mo, MnTiO ₃ , Cu; покрытие Au с двух сторон	3,27	1,1	1,5	2,06	1,83	Сеткография с двух сторон
Mo, MnTiO ₃ , Cu; покрытие Sn, Bi с двух сторон	3,34	1,54	1,94	2,37	2,0	Сеткография с двух сторон
Cr, Cu; покрытие Au с лицевой стороны; Mo, Cu, стекло; покрытие Sn, Bi с обратной стороны	1,31	0,76	0,78	1,19	1,3	С лицевой стороны – напыление, с обратной – сеткография
Cr, Cu; покрытие Au с лицевой стороны; Mo, Mn, Si; покрытие Sn, Bi с обратной стороны	1,65	0,9	0,97	1,26	1,38	С лицевой стороны – напыление, с обратной – сеткография

рой, на которых проводились измерения $K_{\text{свч}}$ и ослабления СВЧ-сигнала в МПЛ ($\alpha_{\text{изм.}}$). Затухание СВЧ-энергии вычислялось по формуле:

$$\alpha = \alpha_{\text{изм.}} - 10 \lg(K_{\text{свч}} + 1) \times 2 / 4K_{\text{свч.}}$$

Измерялось также сопротивление микрополосковой линии на постоянном токе с помощью цифрового омметра. Результаты измерений представлены в таблице 4.

По комбинированной технологии были изготовлены платы ГИС СВЧ. Металлизация обратной стороны и торцов плат производилась вжиганием пасты Mo, Cu, стекло, лицевой стороны – напылением Cr, Cu. Лицевая сторона и торцы плат покрывались золотом, обратная сторона – сплавом олово–висмут. Структура покрытий на торце показана на рисунке 4.

Сопротивление торцов на изготовленных платах составляло от 0,011 до 0,022 Ом. Адгезия напылённых слоёв находилась в пределах 230 ...360 кг/см² и в среднем составляла 300 кг/см². При вжигании пасты подложка подвергается воздействию высокой температуры (до +1350°C), что оказывает влияние на её свойства. В [4] исследовалось влияние высокой температуры (до +1500°C) на свойства подложек. Показано, что при температуре до +1350°C диэлектрическая проницаемость и

прочность керамики остаются без изменений. Класс чистоты обработки поверхности большинства подложек из керамики ВК-100 не изменяется, ухудшение шероховатости поверхности на некоторых подложках происходит в пределах одного класса. Чистота обработки поверхности подложек из керамики ВК-94 (22ХС) ухудшается на 1–2 класса. Таким образом, совмещение толсто- и тонкоплёночной технологий для создания ГИС СВЧ возможно на подложках из керамики ВК-100. На платах, изготовленных комбинированным методом, были собраны ГИС СВЧ с рабочей частотой до 4,3 ГГц, которые обеспечивали необходимые параметры и удовлетворяли требованиям ТУ на данное изделие.

Выводы

1. Наибольшую механическую прочность соединения металлизационного слоя с подложкой имеют пасты Mo, Cu, стекло (330 кг/см²) и Mo, Mn, Si, Cu (320 кг/см²).
2. Потери СВЧ-энергии в МПЛ, изготовленных по тонкоплёночной технологии, меньше, чем в МПЛ, изготовленных по комбинированной технологии, в среднем на 0,4 дБ (9%).
3. Потери СВЧ-энергии в МПЛ, покрытых золотом, меньше, чем в МПЛ, по-

крытых сплавом олово–висмут, в среднем на 0,35 дБ (10%).

4. Добавка меди в состав металлизационной пасты уменьшает сопротивление МПЛ в среднем на 30%.
5. Использование толстоплёночной и тонкоплёночной технологий для изготовления плат ГИС СВЧ возможно. Изготовленные платы обеспечивали работу модулей СВЧ в диапазоне частот 0,3...4,3 ГГц.
6. Учитывая, что при изготовлении плат ГИС СВЧ на обратной стороне подложки металлизационная структура, полученная методом трафаретной печати, имеет высокую адгезию

и низкие потери СВЧ-энергии, можно рекомендовать изготавливать платы ГИС СВЧ по комбинированной технологии. В дальнейшем целесообразно при напылении на лицевую сторону плат использовать резистивный слой в качестве адгезионного слоя, а для металлизации торцов и обратной стороны плат применять пасты, содержащие медь, такие как Mo, Cu, стекло и Mo, Mn, Si, Cu. С лицевой стороны и с торцов целесообразно производить покрытие металлизационного слоя золотом, а с обратной стороны – сплавом олово–висмут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушминский И.П., Морозов Г.В. Конструирование и технология плёночных СВЧ-микросхем. – М.: Советское радио, 1978. С.120–132.
2. Климачёв И.И., Иовдальский В.А. СВЧ ИС. Основы технологии и конструирования. – М.: Техносфера, 2006.
3. Хамер Д., Биггерс Дж. Технология толстоплёночных гибридных интегральных схем. – М.: Мир, 1975.
4. Непочатов Ю.К., Борыняк Л.А. Разработка методов повышения адгезии многослойных металлизационных покрытий к диэлектрическим подложкам. Высокие технологии. 2006. № 2. С.16–19.



НОВОСТИ МИРА

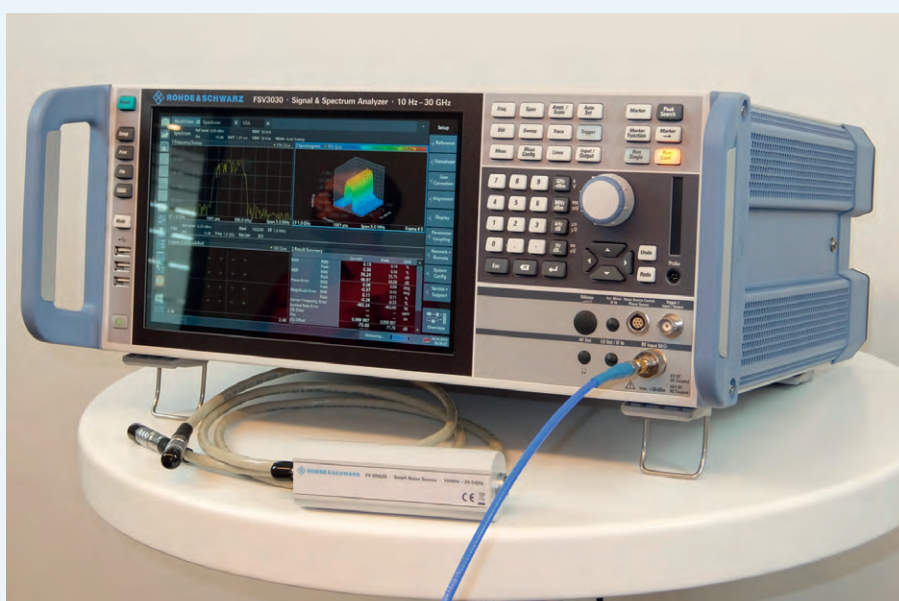
НОВЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА R&S FSV3000 и R&S FSVA3000

Новые анализаторы спектра R&S FSV3000 и R&S FSVA3000 – это высокоскоростной анализ для лабораторных и производственных испытаний, а также идеальное решение для стандарта 5G NR. Представленные приборы заинтересуют инженеров-разработчиков РЛС и спутниковых систем связи, где требования к рабочей частоте сигнала и полосе анализа очень высоки.

Анализатор R&S FSV3000 разработан, чтобы помочь пользователям максимально просто и быстро задать конфигурацию сложных измерений. Благодаря простоте использования и высокой скорости измерений он идеально подходит для лабораторий и производственных линий. Анализатор обладает полосой анализа до 200 МГц – достаточной, например, для захвата сразу двух несущих стандарта 5G NR.

Анализатор R&S FSVA3000 с полосой анализа до 400 МГц, широким динамическим диапазоном и выдающимся уровнем фазового шума –120 дБн/Гц обеспечивает производительность, ранее доступную только для оборудования высшего класса. Пользователи смогут выполнять более сложные измерения, такие как линеаризация усилителей мощности, захват коротких событий или определение характеристик сигнала с быстрой перестройкой частоты.

Оба анализатора, R&S FSV3000 и R&S FSVA3000, способны измерять значения EVM менее 1% для 100 МГц сигнала на частоте 28 ГГц. С учётом охвата диапазонов частот стандарта 5G NR до 44 ГГц эта возможность превращает данные анализато-



ры в идеальные приборы для анализа сигналов 5G NR.

Анализаторы спектра R&S FSV3000 и R&S FSVA3000 упрощают анализ редких событий и настройку сложных измерений. С помощью графического интерфейса на основе запуска по событию при появлении заранее заданного критерия выполняется соответствующее действие, например, сохранение снимка экрана или захват IQ – автоматически устанавливается ряд параметров, таких как центральная частота, полоса обзора частот или опорная амплитуда, а в случае импульсного сигнала – параметры стробирования развертки. Для измерений на соответствие стандарту, таких как ACLR или SEM, функция автоматических измерений выберет соответствующую таблицу параметров стандарта.

Анализаторы спектра R&S FSV3000 и R&S FSVA3000 обеспечивают интеллектуальное управление генератором сигналов,

что может быть очень удобно, если в измерительную ВЧ-установку входит генератор сигналов компании R&S. Изменения настроек анализатора передаются непосредственно в генератор, кроме того, на экране анализатора можно даже отобразить пользовательский интерфейс генератора, что позволяет пользователям управлять всей измерительной установкой с одного экрана. Функции регистратора команд SCPI анализатора и генератора можно объединить.

Анализаторы спектра R&S FSV3000 и R&S FSVA3000 предназначены для высокоскоростной работы в автоматизированных тестовых системах. Оба прибора прекрасно взаимодействуют с облачной обработкой данных. Опциональный сетевой интерфейс со скоростью 10 Гбит/с позволяет передавать I/Q-данные в сеть даже при высоких частотах дискретизации, которые требуются при анализе широкополосных сигналов, например, для стандарта 5G.

Rohde & Schwarz

Новое поколение российских наземных автоматизированных систем контроля бортового электронного оборудования

Сергей Зайченко (zaich@infctest.ru),
Михаил Колесников (kolesnikov@infctest.ru)

Наземные системы автоматизированного контроля (НАСК) авиационной бортовой электроники развиваются на протяжении более чем 40 лет. В статье приводится краткий обзор предыдущих поколений этих систем и рассказывается о новом поколении НАСК российского производства.

Наиболее сложные и дорогие современные самолёты, вертолёты, комплексы связи, спутники и т.д. имеют много специализированных электронных блоков различного назначения. Обычно блоки делятся на два основных типа: LRU (Line Replaceable Unit) – компонент, заменяемый «по месту», и SRU (Shop Replaceable Unit) – компонент, заменяемый в сервисном центре или КБ.

Как правило, блоки LRU содержат в себе по несколько единиц SRU. Блоки LRU и SRU, как и любые электронные блоки, иногда выходят из строя и требуют ремонта. Соответственно, контроль, обслуживание, выявление предотказных состояний и своевременный ремонт блоков представляют собой нетривиальную задачу, и её правильное решение является основой для длительной и безотказной работы сложных объектов. Например, для гражданской авиации качество обслуживания электронных блоков является важней-

шим фактором безаварийной эксплуатации воздушного судна.

Для проверок LRU используются различные тестовые системы. Это могут быть как примитивные стенды или ручные проверки для каждого блока, так и современные наземные автоматизированные системы контроля (НАСК), рассчитанные на автоматизированный контроль более чем сотни блоков из состава бортовых систем самолёта. Такие системы, как правило, рассчитаны на проведение обслуживания и тестирования электронных блоков для конкретного самолёта или вертолёта. В самолётах количество блоков LRU и SRU колеблется от 30 до 120 и более. Соответственно, система НАСК должна за короткое время в автоматизированном режиме проверять отказавшие блоки (или блоки с подозрением на отказ) для своевременной их замены на запасные, обеспечивая бесперебойную и безопасную эксплуатацию воз-

душных судов. В зависимости от количества типов проверяемых LRU НАСК имеет различную конфигурацию и различное программное обеспечение.

Первые НАСК (ATS – Automatic Test System) появились более 40 лет назад в США для авиации и авианосной морской техники. С тех пор НАСК непрерывно совершенствовались, и к настоящему времени сменилось несколько поколений таких систем. Это известные системы Teradyne ATE Spectrum 9100 (более 1000 комплексов в эксплуатации), Spectrum GTS, Cassidian, системы CASS, eCASS, RTCass и другие. По мере совершенствования бортовых блоков появлялись и новые НАСК различного назначения.

Три поколения НАСК

Для того чтобы правильно оценить предлагаемые российским потребителям НАСК и выбрать наиболее современные и эффективные решения, надо понимать, как строятся эти системы и какие технологии их построения являются современными, а какие устаревшими. Все НАСК можно условно разделить на три поколения.

НАСК первого поколения (см. рис. 1) строились из набора стандартных приборов с интерфейсом GPIB IEEE-488 (появился в 1970 г.) и коммутационной матрицы в стандарте ARINC 608A с интерфейсом GPIB (появилась в 1989 г., последняя редакция – 1993 год). Весь процесс проверки блоков управлялся специализированной компьютерной программой. Основным языком для прикладных программ был «Атлас». Системы первого поколения активно использовались в 1989–1997 годах.

Второе поколение НАСК (см. рис. 2) существенно отличалось от первого, хотя общие элементы сохранились. Многие стандартные приборы были заменены модульными в стандарте VXI, с 1997 года добавились модульные приборы в стандарте PXI. Основное отличие от НАСК первого поколения состоит в том, что в кейтры стали устанавливаться не только коммутаторы, но и модульные



Рис. 1. НАСК первого поколения



Рис. 2. НАСК второго поколения: ATE Spectrum CTS

приборы. Скорость работы НАСК второго поколения по сравнению с первым поколением возросла в несколько раз, габариты и цены уменьшились, появились портативные и полевые версии. Огромный скачок в производительности дала замена магистрали GPIB на MXI2 для VXI версий. В первых вариантах VXI примерно до 1994 года использовались контроллеры GPIB-VXI, которые, начиная с 1994 года, были заменены на VXI-MXI2. Именно они обеспечили увеличение скорости работы в десятки раз по сравнению с GPIB. Количество лабораторных приборов с интерфейсом GPIB резко сократилось. Коммутационные матрицы с интерфейсом GPIB в системах НАСК второго поколения практически исчезли, уступив место коммутаторам в стандартах VXI и PXI. Второе поколение НАСК оказалось весьма успешным и различные версии НАСК, использующие комбинацию модульных и стандартных приборов в рамках одной системы, широко используются до сих пор. Основной период использования систем второго поколения пришёлся на 1996–2010 годы.

Идеология построения НАСК второго и третьего поколений весьма похожа. Однако в третьем поколении НАСК (см. рис. 3) продолжилось увеличение доли модульных приборов в системе. Появились приборы в стандартах LXI, PXIe, AXIe и оптические интерфейсы. Скорость обмена информацией выросла до 40...80 Гб/с. Значительная доля проверок стала производиться с помощью цифровых интерфейсов, таких как ARINC-429, ARINC-708, Fibre Channel и др. Практически полностью исчез и был повсеместно заменён на LAN 100/1000 интерфейс GPIB. Новое поколение зарубежных НАСК, таких как eGASS, LMSTAR, RTGASS и др., превзошло по своим возможностям НАСК предыдущих поколений в десятки раз. Началом расцвета НАСК третьего поколения считаются 2009–2012 годы. В 2012–2015 гг. началось внедрение нового стандарта AXIe, что ещё больше увеличило возможности НАСК. В настоящее время интенсивно проходит замена старых НАСК на новые.

Конечно, такое разделение на поколения является достаточно условным, но оно появилось не на пустом месте. Всё дело в том, что объекты контроля, блоки LRU и SRU постоянно совершенствуются и именно их развитие определяет требования к тестовым системам будущего. Причём все НАСК третьего по-



Рис. 3. НАСК третьего поколения

ления прекрасно справляются с задачами тестирования блоков предыдущих поколений, выигрывая у старых НАСК в производительности и цене. Это вынуждает заказчиков тестовых систем при заказе новых НАСК учитывать тот факт, что тестовая система будет эксплуатироваться 15–20 лет, и весьма важно при построении новых НАСК закладывать наиболее передовые технические решения, существующие на момент проектирования системы, чтобы не консервировать отсталость и максимально снизить эксплуатационные расходы в будущем. Большинство старых НАСК используются до сих пор только за счёт наработанного программного обеспечения, но появление новых программных оболочек и инструментов позволяет существенно ускорить разработку нового программного обеспечения.

Всё вышесказанное происходит за рубежом. Там создаются новые НАСК, сменяются поколения тестовых систем. Выстроена определённая технология, которая позволяет наладить обслуживание и качественную эксплуатацию самолётов, вертолётов и других сложных объектов. Рассмотрим, как обстоят дела с системами НАСК в России.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ НАСК

Существующие НАСК и НАСК-подобные системы в РФ (часто они называются АИК – автоматизированные измерительные комплексы) также следует разделить на поколения. Наиболее простыми являются НАСК из бортовых приборов и просто наборы приборов с ручным управлением и инструкциями на бумаге. Вряд ли можно называть их системами. Они в неизменном виде существуют десятки лет и используются для тестирования старых блоков.



Рис. 4. Российская НАСК-200 от ЗАО «Бета ИР»

Более современные их версии также используют бортовые блоки и управляются от компьютера. Основной проблемой таких систем является полное отсутствие унификации бортовых приборов и уникальность для каждого типа воздушного судна. Кроме того, они отличаются весьма высокой ценой (из-за использования бортовых блоков), и крайне бедной функциональностью, т.к. бортовые блоки, как правило, не созданы для имитации сбойных ситуаций и моделирования отказов. Эти НАСК-подобные системы по своей идеологии отстают от современных на 25–30 лет.

Системы НАСК-200, разработанные компанией ЗАО «Бета ИР», – это первые настоящие автоматизированные тестовые системы, соответствующие в основном первому и иногда второму поколению НАСК (см. рис. 4). Именно с разработок НАСК-200 в конце 90-х годов



Рис. 5. HASK CS-M от «Информтест»

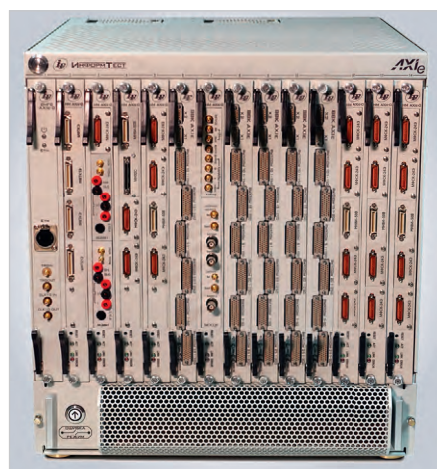


Рис. 6. Крейт стандарта AXIe на 14 слотов

началось развитие российских HASK, соответствующих мировому уровню того времени. Их отличает наличие специализированной коммутирующей матрицы стандарта ARINC-608A, управляемой от компьютера через интерфейс GPIB, набора различных приборов, среди которых наиболее часто используется комплект приборов в стандарте PXI от National Instruments.

Одной из основ HASK-200 и его модификаций является программное обеспечение «Протест», на котором создаются прикладные программы контроля конкретных блоков. Применение коммутирующей матрицы приводит к необходимости разработки и изготовления комплекта специализированных адаптеров для подключения проверяемых LRU-блоков с характерной системой подключения к крейту матрицы. Такой под-

ход во многом соответствует системам серии GASS, популярным в США в 1990–1998 годах. HASK-200 в своё время имел большой успех, потому что на две головы превосходил все те HASK, что были созданы в России до его появления, и оказался первым российским комплексом, пригодным для тестирования иностранных воздушных судов. ЗАО «Бета ИР» по праву стало пионером в создании российских HASK, соответствующих по своему уровню иностранным образцам того времени.

Однако со временем появились новые LRU-блоки, стали широко применяться авиационные цифровые магистрали, такие как ARINC-429, ARINC-708, Fibre Channel и другие, обеспечивающие высокоскоростной информационный обмен в самолёте и работающие по специальным протоколам обмена данными. В 2007–2010 гг. появилось новое поколение модульных приборов в стандарте PXIe, в 2011-м – в стандарте AXIe-1.0, с 2015-го – в стандарте AXIe-0. В новых зарубежных системах, таких как eCASS, RTCASS или LMStar разработки 2011–2017 гг., исчезли приборы в стандарте GPIB, исчезли также и коммутирующие матрицы в стандарте ARINC 608A. GPIB повсеместно заменился на LAN 100/1000, коммутирующие матрицы были заменены на модульные коммутаторы в стандартах VXI, LXI, AXIe-0. Особенностью HASK нового поколения стало объединение в одном крейте измерительных приборов, анализаторов протоколов и коммутаторов. Все эти изменения приве-

ли к значительному расширению функциональных возможностей новых HASK, недоступных для предыдущих поколений, а также к существенному снижению габаритов и стоимости новых систем.

Одним из вариантов HASK нового поколения является HASK-CS-M разработки холдинга «Информтест» (см. рис. 5). HASK CS-M можно уверенно отнести к третьему поколению HASK.

Основные отличия этой системы от HASK-200:

- совмещение части измерительных приборов и коммутаторов в крейте стандарта AXIe-0 (см. рис. 6);
- полностью изменилась коммутационная система подключения к LRU: громоздкие адаптеры заменились на небольшие многофункциональные мини-адаптеры, представляющие собой специализированные разъёмы с различными наборными контактами;
- большая часть модульных приборов выполнена в виде мезонинных модулей, устанавливаемых на носитель в стандарте AXIe (см. рис. 7);
- для коммутации СВЧ-приборов применена СВЧ-матрица в стандарте LXI (см. рис. 8);
- программная оболочка CAT специально разработана для упрощённого написания программ тестирования электронных LRU-блоков испытателями, а не программистами;
- модульные приборы для HASK CS-M применены в мезонинном исполнении (см. рис. 9). Для использования таких приборов в стандартном модуле они устанавливаются на соответствующие модули-носители. Носители доступны в стандартах VXI, LXI, AXIe. Такая технология позволяет применять одни и те же приборы в различных крейтах VXI и AXIe.

Мезонинная технология недоступна в PXI-стандарте из-за малых размеров платы основного модуля (100×160 мм). При использовании мезонинных приборов достигается высокая гибкость при создании компактных HASK. Например, версия HASK CS-M примерно в 2,5 раза меньше, чем аналогичная HASK-200, построенная по стандартной архитектуре. Высокий уровень автоматизации проверок в HASK достигается при применении СВЧ-матрицы, выполненной в стандарте LXI. Особо следует отметить программное обеспечение CAT разработки холдинга «Информтест», которое позволяет потребителю самому легко и быстро писать прикладные программы проверки блоков. ПО CAT себя прекрасно заре-

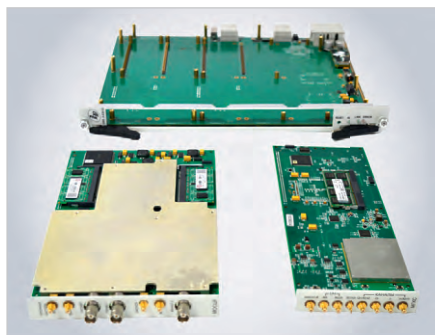


Рис. 7. Носитель стандарта AXIe и измерительные мезонины

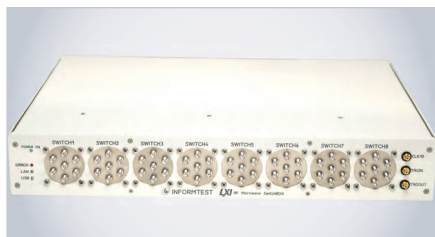


Рис. 8. Блок СВЧ-коммутации

комендовало при создании прикладных программ контроля космических и авиационных объектов (космический корабль Союз-МС и самолёт SuperJet 100). Большинство системных интеграторов, работающих на САТ, пишут программы сами. Аналогичный подход продвигает National Instruments, когда на Labview или Test Stand интеграторы самостоятельно пишут программы контроля блоков. Такой подход является выгодным за счёт расширения круга потребителей и использования своих программистов, что в конечном итоге снижает цену НАСК. Необходимо также отметить, что применение новой коммутационной системы, не привязанной к крейтам коммутирующих матриц, позволяет существенно сократить размеры и цену адаптеров подключения. Фактически, современное поколение адаптеров превратилось в наборы разъёмов со специальными наборными вставками с контактами различного назначения, от высокочастотных до силовых. Сочетание новой технологии построения НАСК и программного обеспечения САТ позволило сократить скорость проверки авиационных блоков в среднем в 5–8 раз по сравнению с предыдущей НАСК. Не лишним будет отметить то, что примерно 90% приборов в НАСК CS-M разработаны и произведены в России на собственном производстве холдинга «Информтест» в Зеленограде. В ближайшей перспективе последние два зарубежных прибора будут заменены на российские.

Построение НАСК CS-M из российских модульных приборов нового

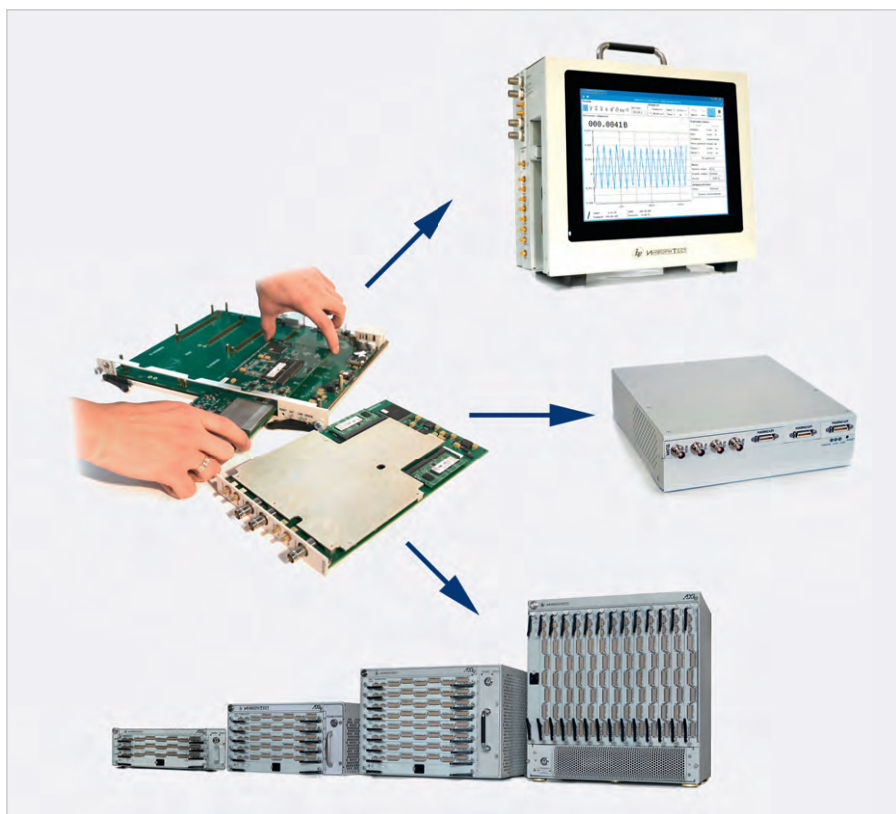


Рис. 9. Мезонинная технология модульных приборов

поколения является ключевым отличием от НАСК-200, использующих импортные приборы.

В составе НАСК CS-M применены следующие российские приборы:

- крейт AXIe-0 на 6 слотов с контроллером CMGC-AXIe с LAN 1 Гб/с;
- генератор МГКС (1,2 Гсэмплов/с, 2 канала, разрядность 16 бит, память 8 Гб);
- осциллограф МОСЦ-6 (2 канала, скорость семплирования 5 Гсэмплов/с, разрядность 8 бит, полоса пропускания 1 ГГц, память 2 Гб/канал);
- мультиметр МЦММ-1 (6,5 знаков, 30000 изм./с);
- upconverter 10 ГГц (полоса переноса 150 МГц);
- downconverter 10 ГГц (полоса переноса 150 МГц);
- диджитайзер МОС-2 (разрядность 14 бит, полоса пропускания 200 МГц, 2 канала, память – до 4 Гб/канал);
- анализатор спектра АС-10 (Downconverter+МОС-2, 10 ГГц);
- генератор сигналов ГС-10 (Upconverter+МГКС, 10 ГГц);
- коммутатор НЧ РК-100x4 AXIe (полная матрица размерности 100x4);
- высоковольтный коммутатор ВВК-AXIe 300x2 (мультиплексор 300x2);
- коммутатор СВЧ 18 ГГц в стандарте LXI (8 каналов 6x1).

Модульные приборы в мезонинном исполнении МОС2, МГКС, МЦММ-1,

МОСЦ-6 устанавливаются в крейт AXIe на носителях мезонинов НМ AXIe. Коммутаторы представляют собой полноразмерные модули в стандарте AXIe-0, конверторы до 10 ГГц и СВЧ-коммутатор выполнены в стандарте LXI. Таким образом, в составе одного изделия присутствуют как мезонинные модули, модули AXIe-0, так и LXI-приборы, что обеспечивает высший уровень унификации при создании НАСК нового поколения.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о появлении в РФ новой современной технологии построения НАСК для тестирования авиационных блоков различного назначения. В отличие от иностранных приборов на российские модульные приборы предоставляется 10-летняя гарантия. Процедура поддержания НАСК в пригодном для эксплуатации состоянии должна быть прозрачна и понятна для российских потребителей, и для этого все российские НАСК должны быть занесены в Госреестр средств измерений и обязаны поставляться с методикой поверки и программой самоконтроля. Холдинг «Информтест» имеет в Госреестре средств измерений РФ более 100 приборов и систем и является крупнейшим в РФ производителем модульных приборов в открытых международных стандартах (серийно производится более 90 типов приборов).



Перестраиваемые полосовые фильтры

Ирина Забегайло, Александр Тюменцев, Андрей Яковлев (info@oniip.ru)

В статье рассмотрены вопросы реализации перестраиваемых полосовых фильтров, обладающих большим коэффициентом перестройки по частоте, представлены результаты измерений характеристик устройства.

Перестраиваемые фильтры находят широкое применение в современной приёмопередающей аппаратуре с перестройкой по частоте. При этом перестройка таких фильтров по частоте может осуществляться посредством коммутации ряда фильтров на фиксированные частоты, либо перестройкой элементов самого фильтра.

Переключение ряда фильтров по входу и выходу с примыкающими амплитудно-частотными характеристиками позволяет обеспечить высокую избирательность и практически неограниченный коэффициент перестройки при сравнительно простой их реализации. Однако перестраиваемые полосовые фильтры (ППФ), выполненные подобным образом, характеризуются большими массогабаритными показателями, особенно при большом количестве узких относительных полос пропускания в широком диапазоне частот.

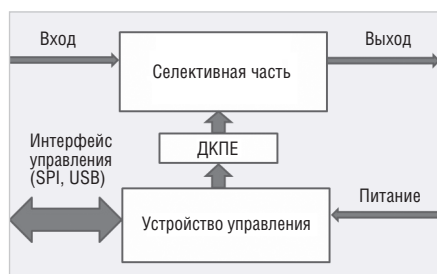


Рис. 1. Структурная схема ППФ, выполненного на основе ДКПЕ

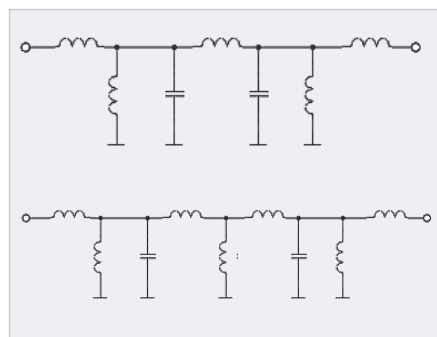


Рис. 2. Схемы ППФ с постоянной относительной полосой пропускания

Поэтому более перспективными являются ППФ, в которых перестройка по частоте осуществляется элементами фильтра, что позволяет обеспечить высокую селективность и одновременно существенно улучшить массогабаритные показатели информационных систем связи, особенно при необходимости реализации большого числа узких относительных полос пропускания в широком диапазоне частот.

В связи с тем что ППФ в значительной мере определяют параметры приёмопередающей аппаратуры, к ним предъявляются высокие требования, которые должны сохраняться при изменении частоты настройки. Вместе с тем изменение частоты настройки ведёт к отклонению характеристик фильтра от заданных из-за изменения характеристического сопротивления фильтра. Причём это отклонение будет тем больше, чем шире диапазон перестройки фильтра. В данной статье рассматриваются возможности реализации ППФ, надёжно обеспечивающих заданные параметры при перестройке в широком диапазоне частот.

При проектировании ППФ, как правило, применяются схемы, содержащие минимальное число элементов перестройки, причём один из их выводов должен быть соединён с общей шиной. В качестве элементов перестройки могут быть использованы переменные индуктивности и конденсаторы. Однако на практике наиболее широкое применение нашли последние. Такие конденсаторы могут выполняться в виде дискретных и нелинейных конденсаторов переменной ёмкости с воздушным зазором.

Для создания аппаратуры, к которой предъявляются высокие требования к динамическому диапазону, в качестве элементов перестройки наиболее приемлемыми являются дискретные конденсаторы переменной ёмкости (ДКПЕ), представляющие собой набор коммутируемых конденсаторов. На рисунке 1 приведена структур-

ная схема ППФ, выполненного с применением ДКПЕ.

Выбор схемы селективной части фильтра во многом определяет не только его основные параметры, но также диапазон и способ перестройки.

В работе [1] было показано, что входное сопротивление симметричного фильтра связано с его характеристическими параметрами следующим образом:

$$W = Z_c \times \frac{Z_c \times \sin \alpha - j R_n \times \cos \alpha}{R_n \times \sin \alpha - j Z_c \times \cos \alpha},$$

где W – входное сопротивление симметричного фильтра, R_n – сопротивление нагрузки на выходе фильтра, α – характеристическая фаза, Z_c – характеристическое сопротивление.

Выделяя вещественную и мнимую части этого выражения можно получить следующие соотношения:

$$\operatorname{Re}(W) = \frac{Z_c^2 \times R}{R_n^2 \times \sin^2 \alpha + Z_c^2 \times \cos^2 \alpha},$$

$$\operatorname{Im}(W) = \frac{Z_c \times (Z_c^2 - R_n^2) \times \sin 2\alpha}{2 \times (R_n^2 \times \sin^2 \alpha + Z_c^2 \times \cos^2 \alpha)}.$$

При $\alpha = k\pi$, ($k=1, 2, \dots, n$), $\operatorname{Re}(W)=R_n$, $\operatorname{Im}(W)=0$.

Таким образом, при изменении частоты настройки перестраиваемого фильтра чётного класса по затуханию входное сопротивление на средней частоте не изменяется и сохраняется согласование, несмотря на изменение характеристического сопротивления. При этом вносимое затухание также будет неизменным. Поэтому селективная часть ППФ чётного класса по затуханию обладает меньшей чувствительностью по коэффициенту передачи на средней частоте при изменении частоты настройки, что делает её более предпочтительной при реализации перестраиваемых фильтров.

На рисунке 2 сверху приведена схема селективной части ППФ чётного класса по затуханию с индуктивной связью, которая позволяет обеспечить постоянную относительную ширину полосы пропускания и меньшую неравномерность коэффициента передачи при более широком диапазоне перестройки. При проектировании узкополосных ППФ элементы такой схемы могут оказаться трудно реализуемыми на практике. Устранить этот недостаток позволяет преобразованная схема, изобра-

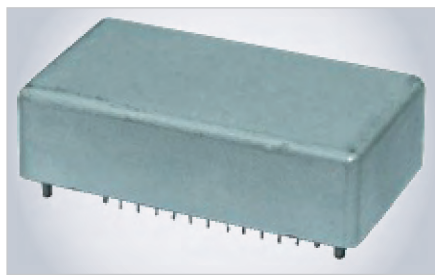


Рис. 3. Внешний вид ППФ на диапазон частот 3...10 МГц

жённая на рисунке 2 внизу, которая больше подходит для создания реальных ППФ. Расчёт элементов этой схемы может быть проведён на основе известных методик [2–7].

Теоретическое значение коэффициента перестройки по частоте ППФ, выполненного подобным образом, может достигать 10. Однако на практике его величина не превышает 3–4, что обусловлено сильной зависимостью добротности катушек индуктивности от частоты и физической реализуемостью ДКПЕ с большим перекрытием по ёмкости.

При настройке перестраиваемого фильтра на верхнюю частоту диапазона $f_{\max}$ ёмкость ДКПЕ минимальна и её величина $C_{\min}$ ограничена значениями паразитной монтажной ёмкости C_M и суммарной ёмкости электронных ключей, когда они разомкнуты, C_K .

$$C_{\min} = C_M + \sum_1^n C_K.$$

Максимальная ёмкость дискретного конденсатора ограничивается допустимой добротностью этой ёмкости Q_c при подключении к ней электронного ключа, сопротивление потерь которого в открытом состоянии равно r_K :

$$Q_c = \frac{1}{\omega \times C_{\max} \times r_K}.$$

Коэффициент перекрытия диапазона рабочих частот определяется отношением:

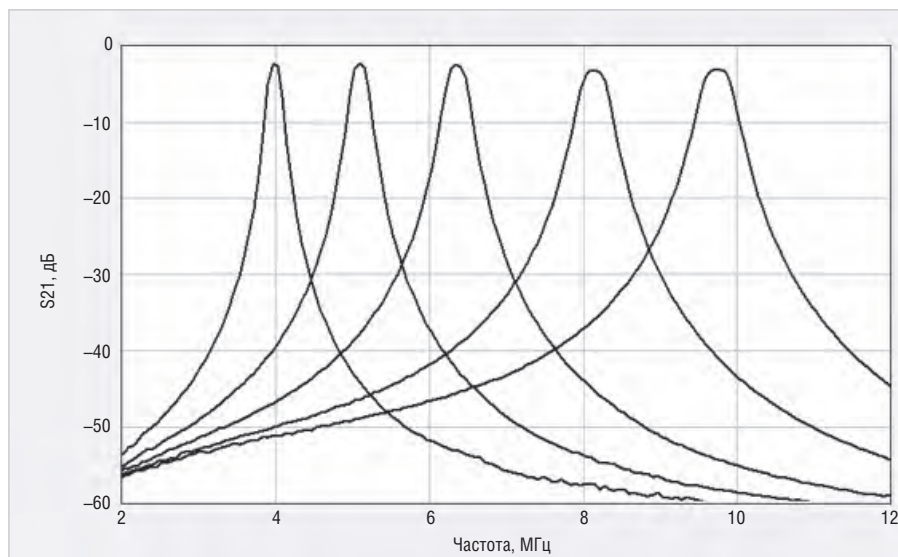


Рис. 4. Измеренная АЧХ ППФ на диапазон частот 3...10 МГц

$$K = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right)^2.$$

Исходя из этого, можно определить максимальную ёмкость конденсатора $C_{\max}$ фильтра с частотой настройки, соответствующей нижней границе диапазона, и ёмкость C_1 , соответствующую средней частоте диапазона перестройки. Число разрядов M определяется по формуле:

$$M = \frac{\lg \left(1 + \frac{C_{\max}}{\Delta C} \right)}{\lg 2},$$

где ΔC – ёмкость первого разряда, определяющая шаг перестройки.

На основе полосового фильтра четного класса по затуханию с индуктивной связью (см. рис. 2 внизу) с использованием 10-разрядного ДКПЕ и приведённых выше расчётов были разработаны и изготовлены ППФ на КВ-диапазон с коэффициентом перестройки по частоте 3...3,5. Общий вид одного из таких фильтров на диапазон частот 3...10 МГц показан на рисунке 3, а его измеренная АЧХ – на рисунке 4. При относительной ширине полосы пропускания порядка

4%, вносимые потери фильтра составили 4...5 дБ (при добротности катушек индуктивности 120), а относительное затухание в полосе задерживания при отстройке $\pm 10\%$ составили 25 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ясинский И.М. Перестраиваемые полосовые фильтры. – Омск: Техника радиосвязи. Вып. 2 (22). 2014. С. 52–60.
2. Аржанов В.А., Ясинский И.М. Электрические фильтры и линии задержки. – Омск, 2000. 370 с.
3. Матей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т.1 Пер. с англ. под ред. Алексеева Л.В. и Кушнира Ф.В. – М., 1971. 439 с.
4. Знаменский А.Е., Попов Е.С. Перестраиваемые электрические фильтры. – М.: Связь, 1979. 128 с.
5. Ханзел Г. Справочник по расчёту фильтров. Перев. с англ. под ред. Знаменского А.Е. – М., 1974. 288 с.
6. Zverev A.I. Handbook of Filter Synthesis. 1967. 600 p.
7. Randall W. Rhea. HF filter design and computer simulation. 1994. 447 p.



НОВОСТИ МИРА

RENESAS ELECTRONICS И IDT ТЕПЕРЬ ОДНА КОМПАНИЯ

Renesas Electronic завершил поглощение американского производителя аналоговых и смешанных аналого-цифровых продуктов – компании IDT.

Компания Integrated Device Technology была основана в 1980 году в США и на данный момент занимает лидирующие позиции в области разработки и производства высокочастотных решений, систем синхрониза-

ции и высокоточного тактирования, микросхем для построения блоков оперативной памяти, систем для оптической передачи данных, а также решений для беспроводной передачи энергии и различного рода интеллектуальных датчиков.

В марте 2019 года IDT стала частью Renesas Electronics. Сочетание продуктов IDT с MCU/MPU и системами по управлению питанием Renesas позволяют реализовать комплексный подход в разработке электро-

ники и предлагать более широкий спектр решений в различных отраслях производства.

Порфолио IDT составляют: Clocks & Timing, Memory & Logic, Interface & Connectivity, Power Management, RF Products, Sensor Products, Wireless Power и Renesas&IDT winning combination.

MT-Системс, являясь официальным дистрибьютором Renesas, осуществляет поставки всего спектра продукции IDT.

Новостная рассылка MT-System

Анализ джиттера в высокоскоростных цифровых устройствах на примере опции R&S RTO-K12

Часть 2

Николай Лемешко (nlem83@mail.ru),
Павел Струнин (Pavel.Strunin@rohde-schwarz.com)

Вторая часть статьи рассказывает о функциональных возможностях и особенностях опции R&S RTO-K12 и рассматривает конкретные примеры её применения для анализа джиттера, возникающего в процессе формирования и обработки цифровых сигналов.

Функциональные возможности и особенности опции R&S RTO-K12

В осциллографах серии R&S RTO оценка параметров джиттера может выполняться на основе ГД (базовая функция) и при помощи специальной опции. Построение ГД с минимальным вносимым джиттером достигается за счёт точной побитовой синхронизации [8]. На основе ГД автоматически могут быть измерены:

- амплитудно-временные характеристики раскрытия «глаза» и показатели их разброса;
- шумовые характеристики, связанные с амплитудными флуктуациями сигнала;
- пиковое, среднеквадратичное значение джиттера, а также интервал наиболее вероятных его значений.

Построение ГД в осциллографах серии R&S RTO реализуется в первую очередь как средство для тестирования цифровых сигналов по заданной пользователем маске и используется для оценки целостности сигналов при отладке ЦУ высокого быстродействия. Опция R&S RTO-K12 расширяет и углубляет возможности измерений характеристик джиттера за счёт сочетания временного и статистического анализов. Она позволяет оценивать джиттер между смежными циклами (посредством последовательной передачи единичного и нулевого битов [8]) и их пачками, задержку относительно опорного сигнала, разность в длительности импульсов в соседних циклах и многие другие характеристики. Опция способна восстанавливать опорный сигнал, анализировать задержку по времени между двумя взаимозависимыми сигналами, например в составе дифференциальной пары. Все перечислен-

ные характеристики могут измеряться одновременно.

Для управления измерением этих параметров предусмотрено весьма подробное конфигурирование. Измерение джиттера может выполняться по первому обнаруженному перепаду или строго по фронту или спаду, либо по любым перепадам в составе цифрового сигнала. Для определения временных соотношений задаётся опорный уровень.

Для сопоставления исследуемого сигнала с опорным, например тактовым сигналом, опция предоставляет две возможности. Первая состоит в том, что опорный сигнал подаётся на один из входов осциллографа, т.е. его источником служит внешнее устройство. Во втором случае опорный сигнал формируется программным либо аппаратным алгоритмом CDR (опция R&S RTO-K13). Настройки режима измерений предусматривают указание видов перепадов для исследуемого и опорного сигналов, а также опорных уровней, по которым рассчитывается задержка. Для анализа временной задержки между двумя взаимозависимыми сигналами достаточно указать только их источники и тип перепада.

Статистические данные по джиттеру могут отображаться в виде трека результатов измерения и в виде вероятностной гистограммы. Для использования этих режимов в настройках осциллографа необходимо включить режим статистики, и тогда результаты измерений заданной характеристики джиттера будут отображаться в синхронном сопоставлении с осциллограммой сигнала. Гистограмма строится на основе трека и характеризует вероятностное распределение измеряемой характеристики джиттера, по которому можно делать выводы о его природе и причинах появления. К треку может быть

применена функция быстрого преобразования Фурье с получением спектра заданной характеристики джиттера, что даёт дополнительную информацию о динамике её изменения.

Таким образом, опция R&S RTO-K12 предоставляет весьма широкий набор инструментов для исследования разнообразных характеристик джиттера при отладке быстродействующих ЦУ.

ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА ДЖИТТЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЦИИ R&S RTO-K12

Используемые средства измерений и оснастка

Для наблюдения джиттера и измерения его временных характеристик необходимо использовать средства измерений, обладающие высокоточной внутренней временной шкалой, иначе результаты измерений будут отражать собственную нестабильность измерительной системы. Осциллографы серии R&S RTO полностью соответствуют данному требованию.

Известно, что джиттер зависит от характера битовой последовательности, передаваемой в цифровом сигнале, включая количество переходов между состояниями с высоким и низким уровнями. Для формирования битовых последовательностей с различным наполнением можно использовать функциональные генераторы, однако более приемлемым решением, в большей степени отражающим принципы формирования сигналов в цифровых устройствах, является применение генератора битовых последовательностей. Генератор сигналов произвольной формы R&S RTO-B6, помимо двух аналоговых выходов, имеет 8 синхронизированных цифровых выходов с интервалом напряжений от 0 до 6 В. Для вывода цифровых сигналов используется небольшая внешняя плата, подключаемая к блоку R&S RTO-B6 при помощи шлейфа. На ней установлены 16 контактов (по два, включая общий, на каждый выход), подключение к которым может выполняться

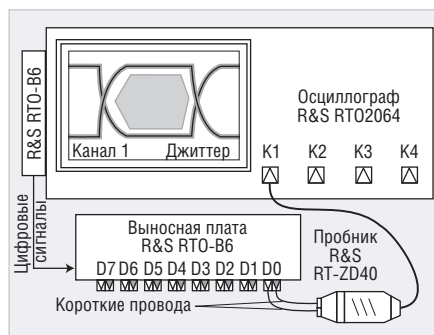


Рис. 5. Установка для измерений джиттера одиночного цифрового сигнала

ся штатными пробниками при помощи переходников. Для управления выходными сигналами генератора используются файлы *.csv с установленной в техническом описании структурой [8]. В этих файлах в шестнадцатеричном виде задаётся последовательность состояний параллельной шины, образованной выводами D0–D7 внешней платы генератора.

В описанных ниже измерениях были использованы:

- осциллограф R&S RTO2064 с полосой рабочих частот до 6 ГГц и 4 каналами с опциями R&S RTO-B6 и RTO-K12;
- дифференциальные пробники R&S RT-ZD30 и R&S RT-ZD40 с полосой рабочих частот до 3 и до 6 ГГц соответственно.

Использование дифференциальных пробников в описанных ниже измерениях обусловлено исключительно удобством их подключения к внешней плате R&S RTO-B6. Анализ джиттера можно проводить с использованием любых пробников, существенно не ограничивающих полосу частот цифрового сигнала.

Построение глазковой диаграммы с помощью базовых функций осциллографа R&S RTO

Для построения глазковой диаграммы (ГД) и проведения с её помощью измерений использовалась схема, представленная на рисунке 5. Она предусматривала прямое подключение выхода D0 генератора к входу осциллографа через пробник R&S RT-ZD30. Алгоритм формирования цифрового сигнала соответствовал шестнадцатеричной схеме 0x0→0x1→... с периодическим повторением, т.е. последовательной смене нулей и единиц в битовом потоке. Его скорость составляла 20 Мбит/с при выходном напряжении 3,3 В.

Результаты построения глазковой диаграммы приведены на рисунке 6, где в

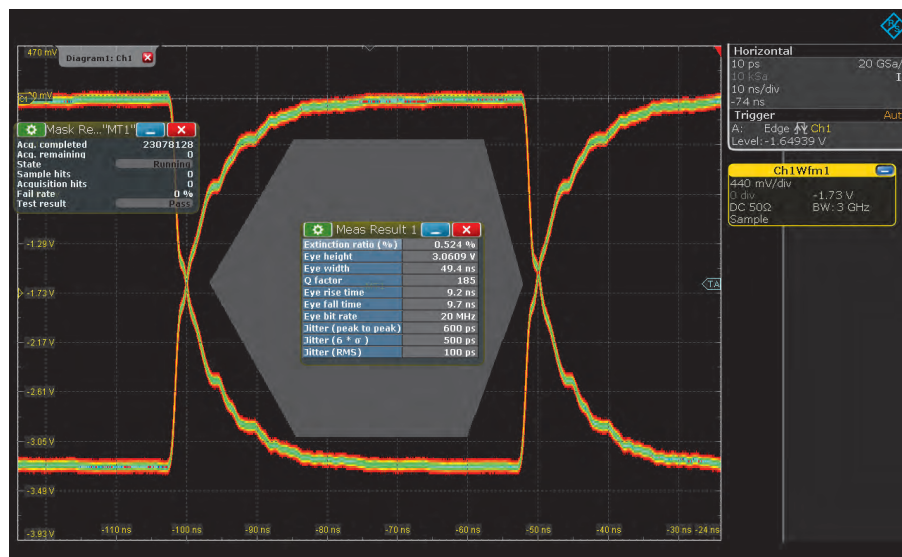


Рис. 6. Построение глазковой диаграммы на основе базовых функций осциллографа R&S RTO

таблице также показаны оценки некоторых характеристик джиттера в соответствии с установленными настройками измерений. Для улучшения отображения джиттера в настройках осциллографа была активирована функция послесвечения с длительностью 100 мс, которая позволяет визуально определить область вариаций цифрового сигнала.

В таблице результатов измерений присутствуют три важных временных характеристики джиттера: пиковое, среднеквадратичное значение и наиболее вероятное значение джиттера (6σ). Эти значения составили 600, 100 и 500 пс, что близко к расчётным значениям для нормального распределения. Отсюда следует, что джиттер исследуемого цифрового сигнала имеет случайный характер. По построенной ГД автоматически измерены времена нарастания и спада, скорость битового потока, ширина и высота диаграммы, а также Q-фактор – отношение разности средних амплитуд логической единицы и логического нуля к сумме их среднеквадратичных отклонений, являющееся обобщённой характеристикой качества цифрового сигнала с точки зрения его захвата приёмником. Любые деструктивные воздействия на цифровой сигнал, например повышенные потери в линии передачи, приводят к снижению Q-фактора. В рассматриваемом случае Q-фактор имеет значение 185, что свидетельствует о незначительном влиянии джиттера на захват логического состояния и подтверждается большим раскрытием «глаза».

Для выбранного класса цифровых компонентов всегда можно определить минимально допустимые грани-

цы ГД входного сигнала, при которых ещё осуществляется надёжный захват логического состояния. На этом принципе основано тестирование по маске, задаваемой оператором. Для реализации такого тестирования в осциллографе должна быть установлена опция R&S RTO-K12. Интерфейс осциллографов R&S RTO позволяет задавать маску непосредственно в графическом виде при помощи сенсорного экрана, что удобно при тестировании цифровых устройств с сигналами разной амплитуды и битовой скоростью. В левой таблице на рисунке 6 приведены результаты тестирования по маске, включающие количество прошедших и не прошедших тестирование бит.

Таким образом, измерения цифровых сигналов по ГД в осциллографах серии R&S RTO фактически выполняются в автоматическом режиме и их результаты дают представление об основных характеристиках джиттера, однако для его глубокого статистического анализа требуется использование опции R&S RTO-K12.

Анализ джиттера с использованием опции R&S RTO-K12

Данный анализ выполнялся с использованием той же схемы подключения оборудования (см. рис. 5). Из всех параметров, которые она способна измерять в автоматическом режиме, были выбраны период, частота, межтактовый джиттер [8], а также джиттер длительности логической единицы. Статистика по данным параметрам приведена в таблице в нижней части рисунка 7. Она включает в себя текущее, минимальное,

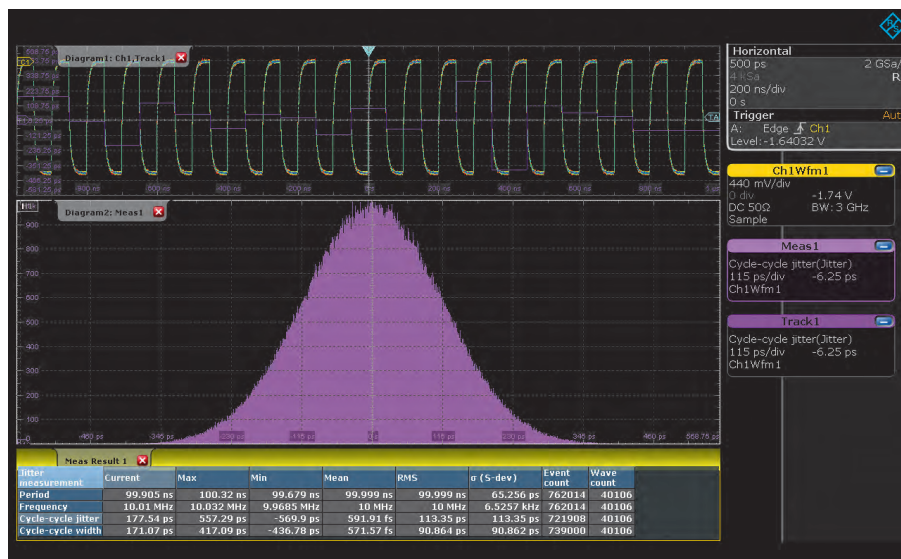


Рис. 7. Результат временного и статистического анализа джиттера с использованием опции R&S RTO-K12

максимальное, среднее и среднеквадратичное значения упомянутых параметров, а также их дисперсию и количество учтённых в расчётах построений осциллограммы. Статистика периода и частоты наиболее важна для тактовых сигналов, которые определяют цикличность процессов в цифровых устройствах. Она позволяет также отслеживать влияние регулировочных операций и иных действий по отладке. Заданное значение битовой скорости в представленном примере равнялось 20 Мбит/с, и, как видно из первых двух строк таблицы, это значение выдержано с высокой точностью.

Положительные и отрицательные значения джиттера в цифровом потоке компенсируют друг друга, поддерживая необходимое значение средней длительности битового интервала. Оценочное среднее значение межтактового джиттера составляет всего 592 фс, т.е. 0,0833% от заданной длительности битового интервала, а максимальное – не более 1,2%. Такие значения гарантируют захват логического состояния при обработке цифровых сигналов с близкой к нулевой вероятностью появления ошибок.

В верхнем поле на рисунке 7 показано совмещение осциллограммы цифрового сигнала и расчётного значения джиттера между смежными циклами, значения которого можно отсчитывать по расположенной слева вертикальной шкале. Захват прибором множества циклов цифрового сигнала позволяет построить вероятностную гистограмму, которая, как показано на рисунке, в целом повторяет кривую плотности нормального распределения. С увели-

чением объёма выборки форма вероятностной гистограммы всё больше приближается к статистически достоверной. Форма вероятностной гистограммы свидетельствует об отсутствии выраженных источников детерминированного джиттера, как это и должно быть в качественных цифровых устройствах. Если бы цифровой сигнал характеризовался детерминированным джиттером, то в большинстве случаев гистограмма имела бы «выбросы» с симметричным расположением относительно математического ожидания.

Измерение джиттера запаздывания между двумя зависимыми сигналами

Данное измерение используется при оценке постоянства системной задержки в ЦУ, что является одной из задач тайминга – проверки соблюдения временных соотношений, необходимых для групповой обработки бит [4]. Если алгоритмы функционирования ЦУ достаточно сложны и предполагают несколько ветвей обработки с последующим объединением потоков информации на аппаратном уровне, что часто используется для достижения наибольшего быстродействия, то это может стать причиной системных ошибок и неработоспособности ЦУ.

Для демонстрации измерительных возможностей опции R&S RTO-K12 в части измерения джиттера зависимых сигналов использовалась схема, представленная на рисунке 8. Цифровые сигналы с амплитудой 1,2 В с выходов D0 и D7 внешней платы генератора R&S RTO-B6 поступали на каналы 1 и 2 осциллографа. Битовая скорость рав-

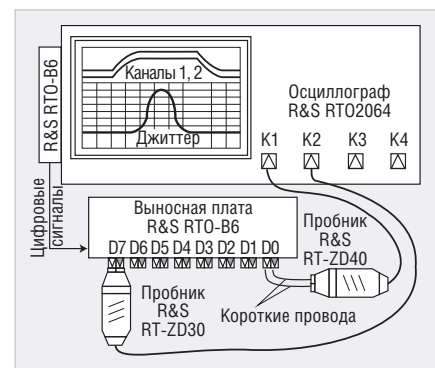


Рис. 8. Установка для измерений джиттера одиночного цифрового сигнала

нялась 20 Мбит/с. Алгоритм формирования цифрового сигнала соответствовал шестнадцатеричной последовательности 0xFF→0x00→0xFF→0x00→→0x00→0xFF→0x00→0xFF→0xFF→→0x00→0xFF→0xFF→0xFF→0x00→→0x00→0xFF→0xFF→0x00→0x00→→0x00→... с периодическим повторением, имитирующей случайную битовую последовательность и обеспечивающей одинаковое логическое состояние на выводах D0, D7 генератора. Перед проведением измерений в цепях пробников R&S RT-ZD30 и R&S RT-ZD40 было установлено нулевое смещение по времени.

В качестве характеристик, для которых анализировался джиттер, рассматривались задержка сигналов и разность фаз, характеризующая долю джиттера в длительности последовательной передачи нуля и единицы. Результаты измерений приведены на рисунке 9. В верхнем окне показаны осциллограммы сигналов, далее с привязкой к той же временной шкале показано, как от цикла к циклу меняется задержка. В нижней части рисунка приведены вероятностная диаграмма и таблица со статистическими результатами измерений джиттера. Согласно таблице, максимальное зарегистрированное значение джиттера составляет 659 пс, т.е. чуть более 1,3% битового интервала. Такие временные вариации цифровых сигналов безопасны с точки зрения соблюдения тайминга. Среднее значение джиттера составляет -71,3 пс – таким образом, сигнал в канале 1 (выход D0) преимущественно опережает сигнал в канале 2 (выход D7). Среднее и среднеквадратичное значения фазы составляют -0,16° и 0,31°, откуда следует, что сигналы отличаются высоким уровнем синхронизации.

Весьма интересные выводы позволяют сделать вероятностная гистограмма. В отличие от предыдущего случая, она

лишена монотонного спада от максимального значения, хотя и сходна по форме с функцией плотности нормального распределения. Выброс в области значения 50 пс свидетельствует о проявлении детерминированного джиттера, который, по-видимому, зависит от характера передаваемых данных либо проявляется в силу перекрёстных помех в шлейфе, соединяющем выносную плату генератора с его аппаратной частью внутри осциллографа. Детерминированная компонента джиттера сравнительно невелика и не является определяющей по сравнению со случайным джиттером.

Оценка влияния параметров цифровых сигналов на характеристики межтактового джиттера

Как отмечается в [4], джиттер может проявлять зависимость от размаха цифрового сигнала, битовой скорости и характера битовой последовательности. Для оценки такого влияния использовалась схема, приведённая на рисунке 5. Рассматривались цифровые сигналы с напряжением 1,2; 3,3 и 5 В и скоростью 1, 10 и 20 Мбит/с (битовый интервал $T=1000$, 100 и 50 нс соответственно), а также с пятью различными типами битовых последовательностей:

- тип 1: с равномерным распределением логических единиц и нулей (...101010...);
- тип 2: с преобладанием логических единиц (...110110...);
- тип 3: с преобладанием логических нулей (...001001...);
- тип 4: с малым количеством логических нулей (...11110...);
- тип 5: с малым количеством логических единиц (...00001...).

В качестве оцениваемой характеристики было выбрано максимальное значение модуля межтактового джиттера J_M не менее чем за $N=8000$ циклов захвата сигнала. При таком значе-



Рис. 9. Результат измерений характеристик джиттера временной задержки зависимых цифровых сигналов

нии N можно говорить о статистически достоверной оценке предельного джиттера. В результате 45 циклов измерений с представлением результатов, аналогичным рисунку 7, были получены оценки значения J_M приведённые в таблице 1.

В качестве характеристики влияния джиттера на передачу бит в цифровом потоке целесообразно ввести параметр $P=2 \times J_M / T$, значения которого, выраженные в процентах, приведены в таблице 2. Значения P для каждой комбинации параметров цифрового сигнала характеризуют максимальную долю джиттера в длительности передачи единичного бита.

Анализ полученных результатов позволяет прийти к следующим важным для практики проектирования быстродействующих ЦУ выводам:

1. Повышение напряжения питания микросхем, вызывающее увеличение размаха цифрового сигнала, всегда приводит к снижению межтактового джиттера. Поэтому, на первый взгляд, высокоскоростные цифровые устройства целесо-

образно проектировать с применением компонентной базы, работающей с повышенным напряжением электропитания, но это противоречит современным тенденциям её развития [4, 6].

2. Увеличение размаха цифрового сигнала снижает зависимость джиттера от характера битовой последовательности.
3. С повышением скорости передачи отношение межтактового джиттера к битовому интервалу увеличивается. Оно резко возрастает вблизи предельной битовой скорости, что является существенным фактором в её ограничении.
4. Равномерное распределение нулей и единиц в битовом потоке ориентировочно соответствует среднему значению межтактового джиттера.
5. Переход к протоколам передачи данных, при которых в битовом потоке преобладают нули или единицы, способен привести к изменению джиттера на 10...20%, что открывает дорогу к оптимизации и некоторому повышению предельно допусти-

Таблица 1. Оценочные значения J_M для цифровых сигналов с различными характеристиками

Скорость, Мбит/с	Размах сигнала, В	Значение J_M , нс, для цифровых сигналов типа				
		1	2	3	4	5
1	1,2	1,209	0,904	1,342	0,853	1,132
	3,3	0,803	0,618	0,686	0,620	0,793
	5,0	0,628	0,403	0,630	0,500	0,589
10	1,2	0,744	0,623	0,575	0,831	0,950
	3,3	0,377	0,407	0,413	0,405	0,416
	5,0	0,265	0,289	0,379	0,280	0,249
20	1,2	1,014	0,906	1,022	1,080	1,277
	3,3	0,358	0,394	0,372	0,497	0,470
	5,0	0,253	0,307	0,280	0,258	0,310

Таблица 2. Значения параметра P для цифровых сигналов с различными характеристиками

Скорость, Мбит/с	Размах сигнала, В	Значение P , %, для цифровых сигналов типа				
		1	2	3	4	5
1	1,2	0,242	0,188	0,268	0,171	0,226
	3,3	0,160	0,124	0,137	0,124	0,159
	5,0	0,126	0,081	0,126	0,100	0,118
10	1,2	1,488	1,246	1,150	1,662	1,900
	3,3	0,754	0,814	0,826	0,810	0,832
	5,0	0,530	0,578	0,758	0,560	0,498
20	1,2	4,056	3,624	4,088	4,320	5,108
	3,3	1,432	1,576	1,488	1,988	1,880
	5,0	1,012	1,128	1,120	1,032	1,240

мой по критерию джиттера битовой скорости. Некоторые протоколы, например USB 2.0 [9], используют специальные виды кодирования, которые позволяют уменьшить количество фронтов и спадов в цифровом сигнале.

6. По-видимому, для любого источника цифрового сигнала существует битовая скорость, оптимальная по критерию минимизации джиттера, которая, однако, весьма далека от значения, соответствующего предельному быстродействию.

В общем случае характеристики джиттера будут зависеть и от других особенностей формирования и передачи цифровых сигналов, включая технологию изготовления интегральных компонентов, топологию печатного узла ЦУ и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Явление джиттера всегда сопровождает процессы формирования и обработки цифровых сигналов при современных битовых скоростях. Анализ джиттера является важным этапом отладки ЦУ, обеспечения их

стабильного, надёжного функционирования, а также обязательным условием для достижения предельно возможного их быстродействия, если это необходимо. Оценка характеристик джиттера должна проводиться с использованием высококачественных осциллографов, пробников и другой оснастки, которые не оказывают существенного влияния на результаты измерений.

Анализ джиттера, реализованный в осциллографах серии R&S RTO в базовом варианте, позволяет получить оценки границ вариаций цифровых сигналов во времени. Автоматическое измерение амплитудно-временных параметров джиттера даёт возможность упростить и ускорить отладку ЦУ. Опция R&S RTO-K12 обладает существенно более широкой функциональностью, достаточной для получения временных и статистических характеристик различных показателей джиттера и позволяющей при необходимости оценить действительность схемотехнических, конструкторских и технологических мер по их снижению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новожиллов О.П. Основы цифровой техники. – М.: Радиософт, 2004. – 528 с.
2. Эннс В.И., Кобзев Ю.М. Проектирование КМОП-микросхем. Краткий справочник разработчика. 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 454 с.
3. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 616 с.
4. Кечиев Л.Н. Печатные платы и узлы гигабитной электроники. – М.: Грифон, 2017. – 424 с.
5. Лемешко Н.В., Кечиев Л.Н., Захарова С.С. IBIS-модели и их применение в задачах ЭМС. – М.: Грифон, 2016. – 192 с.
6. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок. – М.: Лань, 2007. – 400 с.
7. Алексеев О.В., Головкин А.А., Пивоваров И.Ю. и др. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 400 с.
8. R&S RTO Digital Oscilloscope. User Manual. V.11. – 1332.9725.02-11. – 2429 p.
9. Universal Serial Bus Specification: http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/#usb20spec



SCHAEFER

Источники питания AC/DC

- Вход: однофазная и трехфазная сеть переменного тока
- Мощность от 100 Вт до 500 кВт
- Выход: от 5 до 800 В постоянного тока
- Диапазон рабочих температур от -40 до +75°C

Источники питания DC/DC

- Вход: от 10 до 800 В постоянного тока
- Разнообразные конструктивные исполнения

DC/AC-инверторы

- Вход: от 20 до 800 В
- Выходы: однофазное и трехфазное напряжение
- Частота выходного напряжения от 40 до 800 Гц с подстройкой

AC/AC-преобразователи

- Преобразование переменного напряжения в однофазное и трехфазное с частотой от 40 до 800 Гц

Области применения

- Промышленная автоматизация
- Железнодорожный транспорт
- Испытательное оборудование
- Энергетика
- Оборонная промышленность
- Нефтегазовая промышленность

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU

Реклама



Простой выбор источника питания

Компания XP Power предлагает широкий ряд стандартных и конфигурируемых устройств электропитания AC/DC и DC/DC. Источники питания сочетают подтверждённую надёжность с габаритами и ценой, соответствующими практически любому требованию.



Источники питания открытого типа

- от 5 до 350 Вт
- Компактная конструкция
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



Конфигурируемые источники питания

- от 25 до 5000 Вт
- Высокоэффективная конструкция
- Работа от одно- и трёхфазной сети
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



Для монтажа на DIN-рейку

- от 5 до 960 Вт
- Сверхкомпактные
- AC/DC- и DC/DC-преобразователи



Корпусированные источники питания

- от 25 до 5000 Вт
- Высокоэффективная конструкция
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



DC/DC-преобразователи

- от 0,25 до 750 Вт
- Монтаж в отверстия печатной платы и поверхностный монтаж
- Для железнодорожного и медицинского оборудования



Высоковольтные источники питания

- До 500 кВ и 200 кВт
- Конструкция модульного типа и для монтажа в стойку
- Входное напряжение переменное и постоянное



Усовершенствованный УМЗЧ на базе ИУ и мощных ОУ

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

В статье приведены усовершенствованные варианты устройств, входящих в состав УМЗЧ, построенного на базе мощных ОУ LM3886, включённых в мостовом режиме работы и управляемых инструментальным усилителем AD8295. Показано, что эти усовершенствования существенно повысили надёжность работы УМЗЧ и уменьшили габариты входящих в него устройств.

Введение

Двухканальный аудиоусилитель, построенный на мощных операционных усилителях (ОУ) LM3886, включённых в мостовом режиме, с использованием инструментального усилителя (ИУ) AD8295, описанный в статье [1], интенсивно эксплуатируется автором в домашних условиях уже более года. За прошедшее время некоторые компоненты аудиоусилителя претерпели достаточно существенные изменения.

Разработанный автором новый двухполярный источник питания (ИП) со сверхнизким уровнем пульсаций и защитой от превышения тока, описанный в статье [2], имеет уменьшенный в 4 раза размах пульсаций по сравнению с ИП, описанным ранее в [1] (не более 0,25 мВ против 1 мВ). Кроме того, конструкция нового ИП [2] существенно упрощена, т.к. теперь в каждом стабилизаторе используется только один мощный полевой транзистор.

Усовершенствованию подвергся и двухканальный пассивный тонкомпенсированный регулятор громкости (ТКРГ), описанный автором в [3], имеющий АЧХ, существенно приближённую к линиям равной громкости и более плавное регулирование громкости и НЧ-коррекции по сравнению с ТКРГ, описанным в [1].

Остальные компоненты УМЗЧ, а именно: предварительный усилитель на базе двух ИУ, пик-детектор на базе двух стандартных ОУ и, наконец, сам усилитель мощности на базе двух мощных ОУ, включённых в мостовом режиме, также подверглись существенной модернизации.

В статье будут рассмотрены принципиальные схемы указанных устройств с описанием их отличий от приведённых в [1], затем будут приведены разводка плат, фотографии реальных

устройств и некоторая информация по их настройке.

Предварительный усилитель

В схему предварительного усилителя (см. рис. 1) добавлен ещё один стандартный сдвоенный ОУ MC34072 (DA3). Это было сделано по двум причинам. Во-первых, как следует из справочного листка на микросхему ИУ AD8295 (DA1, DA2), подача опорного напряжения на её вход REF (6-й вывод) должна осуществляться через повторитель на ОУ (см. рис. 2 справа), а не напрямую с потенциометра (см. рис. 2 слева).

Перечёркнутая схема не является абсолютно бесспорной, поскольку номиналы R_a и R_b (около 2,4 кОм в [1]) на порядок меньше входного сопротивления входа REF ИУ (около 20...40 кОм). В связи с этим, входное сопротивление ОУ не оказывает существенного влияния на входное напряжение V_{ref} , снятое непосредственно с потенциометра. Тем не менее, схема, приведённая на рисунке 2 справа, является более предпочтительной, т.к. выходное сопротивление ОУ составляет единицы и даже десятки доли Ом, поскольку выход любого ОУ является низкоимпедансным.

В схеме на рисунке 1 в качестве упомянутых повторителей используются встроенные в DA1 и DA2 ОУ (13-й и 14-й выводы – инвертирующий и неинвертирующий входы, 12-й вывод – выход), на неинвертирующие входы которых поданы опорные напряжения V_A и V_B (для каналов А и В соответственно). Опорные напряжения снимаются с движков подстроечных резисторов RA3 и RB3. Эти резисторы, в свою очередь, подключены к опорным напряжениям +5 В и –5 В через резисторы RA2, RA4 и RB2, RB4, соответственно.

Вторая причина добавления сдвоенного ОУ заключается в следующем. Для

формирования опорных напряжений используется дополнительный сдвоенный ОУ DA3 (вместо встроенных в DA1 и DA2 двух ОУ, как в [1]). Для формирования опорного напряжения +5 В используется левый по схеме ОУ DA3 (3-й и 4-й выводы – инвертирующий и неинвертирующий входы соответственно, 1-й вывод – выход). В отличие от схемы формирования положительного опорного напряжения, применённой в [1] (стабилитрон с резистором, подключённым к напряжению питания, и повторитель на ОУ), в схеме использован классический формирователь опорного напряжения +5 В [4]. Здесь стабилитрон VD1 с резистором R3 включён в отрицательную обратную связь (ООС) ОУ (точка соединения VD1 с R3 соединена с инвертирующим входом ОУ), а к неинвертирующему входу ОУ подключена точка соединения двух резисторов R1 и R2 (положительная обратная связь). Такая схема имеет коэффициент стабилизации не менее 10000 [4], а реальный коэффициент стабилизации, измеренный автором в работе [5], составил около 20000, что несоизмеримо больше, чем коэффициент стабилизации стабилитрона с резистором, подключённым к напряжению питания, как в [1]. Для формирования отрицательного опорного напряжения –5 В использован классический инвертор (на правом по схеме ОУ DA3) с двумя резисторами R5 и R6 и шумоподавляющим конденсатором C1, включённым в ООС.

Следует добавить, что сдвоенный ОУ DA3 в настоящее время выпускается в сверхминиатюрном корпусе WQFN10 размером 2,6×2,6 мм (MC34072AMTTBG). Этот недорогой ОУ выпускается уже довольно давно (правда, в более габаритных корпусах), он достаточно надёжный, имеет максимальное напряжение питания до 44 В и показал отличную работу в двухполярном стабилизаторе на мощных полевых транзисторах [2]. Его использование в предварительном усилителе не только не привело к увеличению площади платы, а наоборот, при усовершенствованной разводке (см. далее) площадь платы даже немного умень-

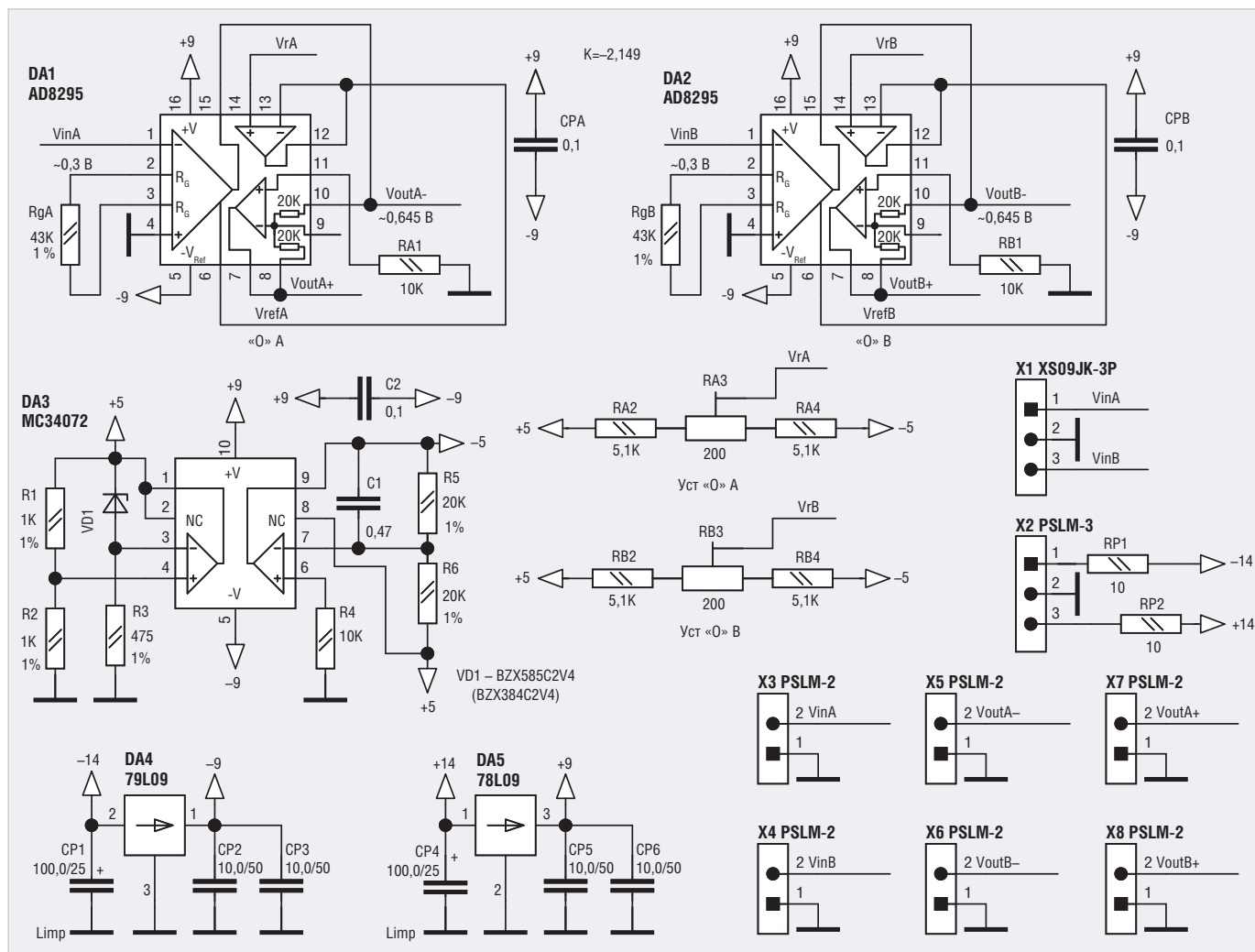


Рис. 1. Принципиальная схема предварительного усилителя

шила с $30 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} = 750 \text{ мм}^2$ в [1] до $32 \text{ мм} \times 22 \text{ мм} = 704 \text{ мм}^2$.

Как видно из рисунка 1, номиналы резисторов R_g A и R_g B уменьшены до 43 кОм по сравнению с 51 кОм в [1]. Это привело к увеличению коэффициента усиления ИУ с 1,969 до 2,149 и соответственно к увеличению действующего значения выходного напряжения до 0,645 В (или амплитудного до $\approx 0,9$ В). Если это значение усилить в 10 раз, то получим амплитудное значение 9 В, а в мостовом режиме 18 В, что приведёт к увеличению мощности до 40,5 Вт (против 32 Вт в предыдущей версии) на нагрузке 4 Ом. Для этого потребуются несколько увеличить площадь радиатора мощных ОУ (см. далее).

В остальном схема предварительного усилителя аналогична предыдущей версии [1], поэтому она не нуждается в подробном рассмотрении.

Пик-детектор

Для того чтобы объяснить отличие работы усовершенствованного пик-детектора от описанного в [1], напомним принцип его работы. На инвер-

тирующие входы двух компараторов, сконструированных на базе двух стандартных ОУ, подаются два пороговых опорных напряжения: положительное (+0,85 В) и отрицательное (-0,85 В). На неинвертирующие входы этих же компараторов подаётся входной сигнал, снятый с предварительного усилителя, который затем усиливается в 10 раз (до 8,5 В) мощным ОУ (или удвоенный до 17 В при его работе в мостовом режиме). Выходной сигнал обоих компараторов через диоды подаётся далее на вход триггера Шмидта, который за счёт гистерезиса устраняет ложные срабатывания компараторов при нахождении уровня сигнала в районе порога (+0,85 В или -0,85 В). Выходным сигналом триггера Шмидта зажигаются светодиоды. Эта схема показала хорошую работу, однако и здесь представилась возможность для усовершенствования.

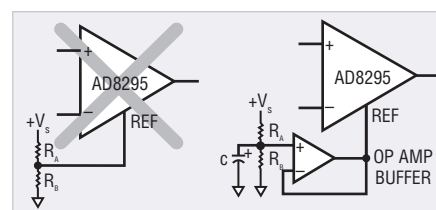


Рис. 2. Схема корректной подачи опорного напряжения на ИУ

Предположим, что сигнал синусоидальный, а его амплитуда больше 0,85 В, например, 0,9 В. В этом случае сработает как компаратор, отслеживающий превышение порога +0,85 В, так и компаратор, отслеживающий превышение порога -0,85 В. Причём, при превышении порога +0,85 В в связи с синусоидальностью сигнала превышение порога -0,85 В будет всегда, а значит в его отслеживании нет необходимости, и в этом случае компаратор, отслеживающий превышение порога -0,85 В, можно исключить, оставив только компаратор, отслеживающий порог +0,85 В. А раз так, то можно исключить целый сдвоенный ОУ (с его обвязкой), а так-

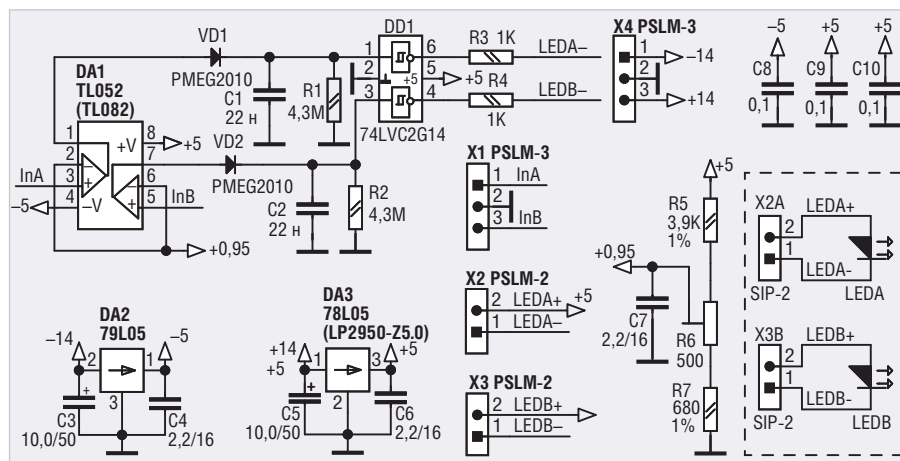


Рис. 3. Принципиальная схема пик-детектора

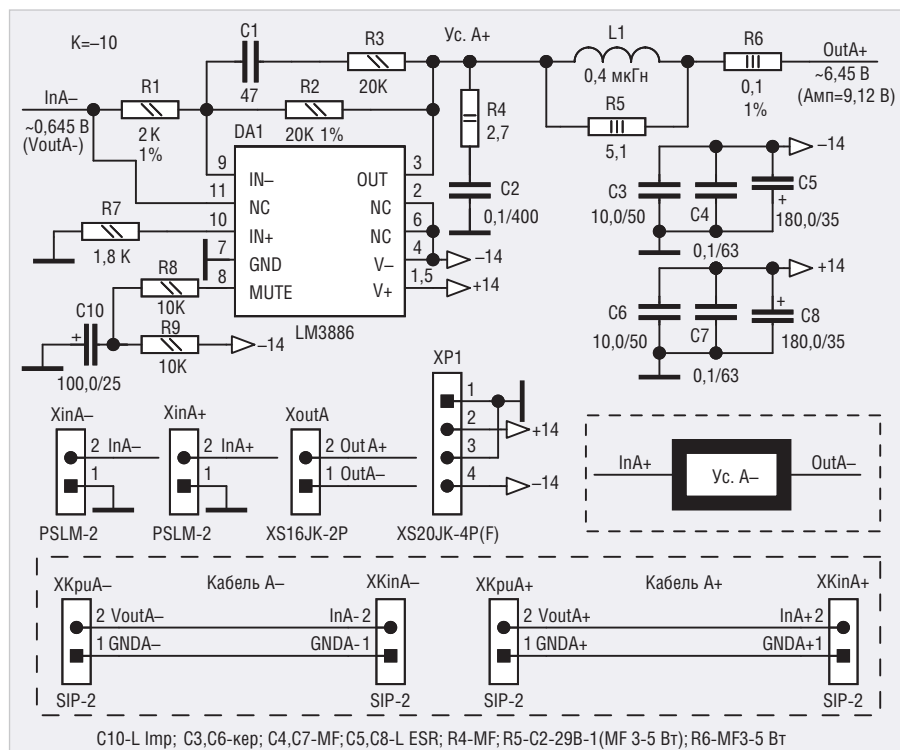


Рис. 4. Принципиальная схема одного канала (А) мостового усилителя мощности

же цепочку резисторов вместе с подстроечным, предназначенную для формирования напряжения $-0,85$ В, т.к. каналов два. В этом случае схема существенно упрощается, т.к. для её функционирования требуется только один двоярный ОУ и один подстроечный резистор (см. рис. 3). Это справедливо для синусоидального сигнала.

А как обстоит дело, если сигнал не синусоидальный, а звуковой? К счастью, такой сигнал так же, как и синусоидальный, практически симметричен относительно оси времени (если не принимать во внимание небольшой сдвиг фаз). Это означает, что устройство с двумя компараторами и с одним компаратором (на канал) должны работать идентично. Эксперимент, прове-

дённый автором с двумя устройствами, это подтвердил. За счёт упрощения схемы размер платы существенно уменьшен с 30×26 мм до 24×24 мм.

Как можно заметить из рисунка 3, порог увеличен с $0,85$ В до $0,95$ В, поскольку теперь максимальное амплитудное значение выходного сигнала каждого мощного ОУ составляет 9 В. В остальном схема пик-детектора повторяет аналогичную схему из [1].

Усилитель мощности

В новой схеме усилителя мощности (см. рис. 4), по сравнению с [1], введены два усовершенствования. Первое связано с увеличением ёмкости конденсатора C10 в 2 раза – до 100 мкФ. Этот конденсатор определяет постоянную вре-

мени RC-цепочки R8C10, отвечающую за время нахождения сигнала MUTE DA1 в запрещающем состоянии при включении и выключении питания, что необходимо для исключения щелчков в АС в этих режимах работы. Если в [1] при включении питания щелчки в АС отсутствовали, то при выключении питания они иногда проявлялись. Это связано с тем, что при выключении питания электролитические конденсаторы ИП разряжаются достаточно долго, и сигнал MUTE возвращается в разрешающее состояние раньше, чем пропадёт питание. При увеличении номинала C10 в 2 раза упомянутые щелчки при выключении питания полностью исчезают.

Второе усовершенствование связано с добавлением в схему LR-цепочки L1R5 и резистора R6. В справочном листке на микросхему LM3886 в стандартном включении рекомендуется установка LR-цепочки (с номиналами $L=0,7$ мкГн и $R_L=10$ Ом) при подключении выхода ОУ к АС. Причём, катушка индуктивности L и резистор R_L включены параллельно (т.е. R_L шунтирует L) или, другими словами, R_L снижает добротность RL-цепочки. На высоких частотах эта цепочка за счёт сопротивления R ограничивает выходной ток ОУ при его работе на ёмкостную нагрузку и снижает добротность Q последовательного резонансного контура, возникающего в этом случае (т.е. для исключения автоколебаний на ВЧ). На низких частотах низкий импеданс индуктивности L «закорачивает» R и свободно пропускает весь звуковой сигнал в нагрузку.

Кроме того, в параллельном или мостовом включении для компенсации несколько отличающихся выходных сопротивлений двух экземпляров микросхем LM3886 рекомендуется дополнительная установка последовательно с нагрузкой (АС) компенсационного резистора R_K номиналом $0,1$ Ом. В схеме, приведённой в [1], вместо трёх элементов L, R_L и R_K установлен один, а именно проволочный резистор номиналом $0,1$ Ом, причём его индуктивность из-за относительно большого количества витков (7–8) составляет около $0,4...0,5$ мкГн. Однако это не совсем то, что требуется, т.к. такая замена абсолютно не равнозначна установке L, R_L и R_K . В новой схеме вместо RL-цепочки с номиналами $0,7$ мкГн и 10 Ом соответственно на выходе каждого из ОУ (как в справочном листке)

установлена RL-цепочка L1R5 с номиналами в 2 раза меньшими: 0,35 мкГн и 5,1 Ом (при последовательном соединении индуктивности и сопротивления, как известно, складываются). Резистор R_L должен быть безындукционным (металлоплёночным либо углеродистым). В качестве R_L в данном случае использован отечественный прецизионный металлоплёночный резистор С2-29В-1 номиналом 5,11 Ом. На этом резисторе установлена катушка индуктивности, состоящая из 8 витков провода ПЭТВ-2 1,08. Расчётная индуктивность составила около 0,35 мкГн. Для катушки использовался хвостовик сверла диаметром 8,3 мм, а затем уже эта катушка была установлена на резистор С2-29В-1. Что касается резистора номиналом 0,1 Ом, то он также должен быть, по возможности, безындукционным (металлоплёночным или углеродистым), либо, если он проволочный, то количество витков проволоки в нём должно быть минимальным. В качестве такого резистора был установлен проволочный резистор КНП-300 мощностью 3 Вт номиналом 0,1 Ом (1%). Визуально на нём можно рассмотреть саму катушку, состоящую из 1,5–2 витков. Расчётная индуктивность составила около 22 нГн, что не оказывает сколько-нибудь значительного влияния на всю конструкцию.

В остальном новая схема повторяет аналогичную, приведённую в [1]. Поскольку мощность усилителя увеличена с 32 до 40,5 Вт, для охлаждения использован радиатор увеличенной площади из отрезка профиля RP-220-20Z размером 220×80×60 мм. Такой радиатор представляет собой алюминиевую пластину размером 220×60×18 мм с 17 квадратными рёбрами со стороной 60 мм и толщиной около 4,5 мм. К пластине были прикручены две платы усилителя мощности с использованием керамических прокладок и изолирующих втулок (т.е. по две микросхемы LM3886 на каждый усилитель). К этому же радиатору была прикручена плата стабилизатора ±14 В [2] также с использованием керамических прокладок и изолирующих втулок.

Разводка плат

Все платы были разведены в программе Sprint LayOut 6.0. Хотя разводка всех плат является односторонней и технология их изготовления подробно описана в статье [6], платы предварительного усилителя (см. рис. 5) и пик-

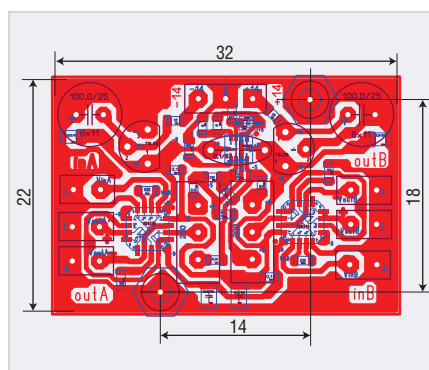


Рис. 5. Разводка платы предварительного усилителя

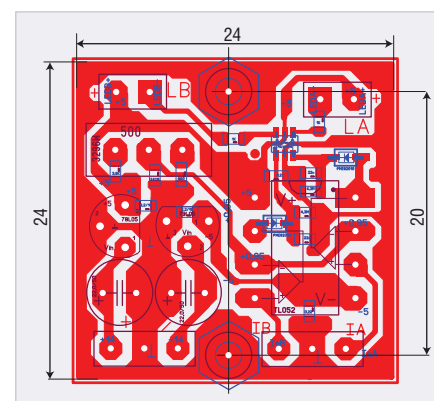


Рис. 6. Разводка платы пик-детектора

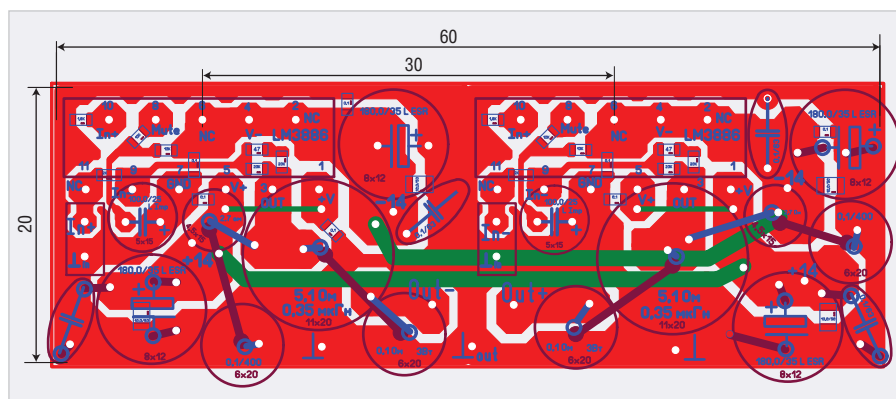


Рис. 7. Разводка платы одного канала мостового усилителя мощности

детектора (см. рис. 6) дополнительно могут иметь земляной контур, расположенный с обратной стороны платы. Такой земляной контур представляет собой второй слой меди, который электрически соединён с земляным контуром, расположенным на стороне дорожек, с помощью выводов компонентов навесного монтажа (электролитических конденсаторов, штыревых разъёмов, микросхем стабилизаторов в корпусе TO-92), которые пропаиваются с двух сторон. Выводы навесных компонентов, непосредственно не контактирующих с земляным контуром, окружены «прогалинами», размер которых несколько больше соответствующих контактных площадок, расположенных на слое дорожек. Технология изготовления подобных двусторонних печатных плат подробно описана в статье [7], где в качестве примера приведены фотографии обеих сторон платы предварительного усилителя. Второй земляной контур не является обязательным, но в плате предварительного усилителя его желательно реализовать.

Отличительная особенность разводки всех плат – полное отсутствие резисторов с нулевым сопротивлением (перемычек). На плате усилителя мощности скомпонованы сразу два

усилителя на базе ОУ LM3886, включённых в мостовом режиме работы. Таким образом, вместо четырёх отдельных плат [1] в усовершенствованном варианте используются всего две платы (для каналов А и В). Это существенно снизило трудоёмкость подсоединения плат к ИП и выходным разъёмам, предназначенным для подключения к АС. На плате усилителя мощности (см. рис. 7) зелёным цветом показаны проводники, которые требуется распаять с обратной стороны платы. В качестве таких проводников следует использовать провод сечением не менее 1...1,5 мм², например, МГТФ-1,5. Размер каждой из двух плат составляет 20×60 мм.

Компоненты для поверхностного монтажа, расположенные на стороне дорожек, обозначены синим цветом, компоненты навесного монтажа, расположенные с обратной стороны – коричневым. Платы предварительного усилителя и пик-детектора имеют крепёжные отверстия, через которые винтами М2 к платам прикручены пластмассовые шестигранные стойки с внутренней резьбой М2. Эти стойки, в свою очередь, прикручены к днищу корпуса также винтами М2. Платы усилителя мощности не имеют крепёжных отверстий, поскольку они достаточ-

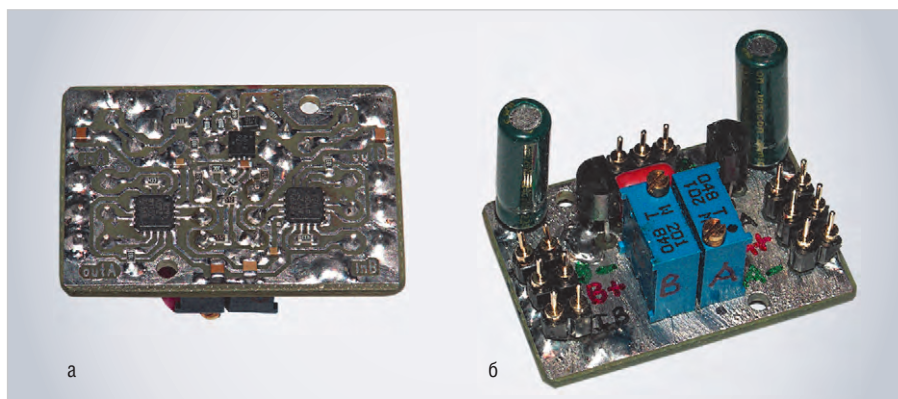


Рис. 8. Плата двухканального предварительного усилителя: а) вид со стороны дорожек; б) вид с обратной стороны

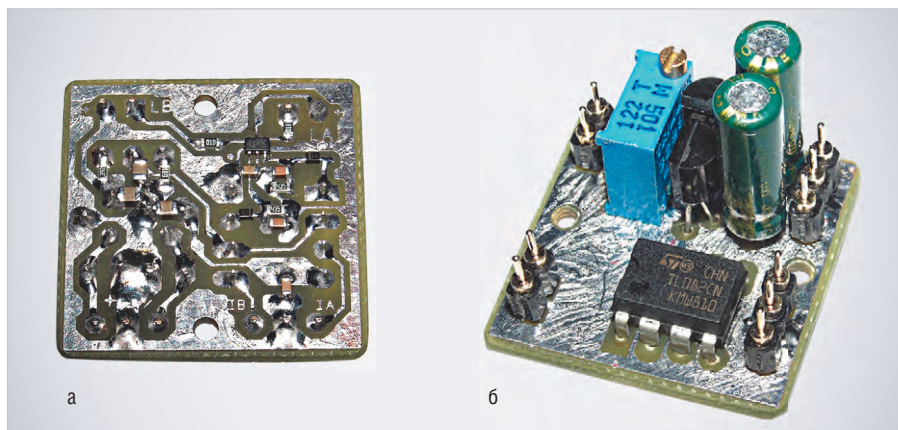


Рис. 9. Плата пик-детектора: а) вид со стороны дорожек; б) вид с обратной стороны

но прочно держатся на выводах двух микросхем LM3886, а сами микросхемы прикручены к радиаторам через керамические изоляционные теплопроводящие прокладки. В дополнительных материалах на сайте журнала приведён файл разводки всех плат в формате *.lay6.

После того как платы изготовлены, их необходимо покрыть 2–3 слоями цапонлака или любого другого нитролака со стороны дорожек. На рисунках 8–10 приведены фотографии всех плат до покрытия лаком, поэтому платы предварительного усилителя и пик-детектора показаны без крепёжных стоек, а плата усилителя мощности – без припаянных к ней проводов питания и выходных сигналов.

Настройка плат устройств

Сначала следует проверить работу предварительного усилителя. Для этого необходимо подать на него питание ± 14 В с помощью ИП небольшой мощности (с максимальным током до 100 мА). В качестве такого ИП можно, например, использовать ИП, описанный в статье [8]. После этого следует подать на входы каждого канала синусоидальный сигнал с амплитудой 0,4 В

и частотой 1 кГц. С помощью осциллографа проверить выходной сигнал, который должен быть также синусоидальным с амплитудой примерно в 2 раза больше. Далее установить частоту около 30 Гц и 20 кГц и также проверить выходные сигналы. В качестве генератора можно, например, использовать генератор, описанный в статье [9] или любой другой генератор звуковой частоты.

Далее необходимо к плате предварительного усилителя подключить плату усилителя мощности. В качестве нагрузки усилителя мощности следует использовать резистор номиналом 1,5 кОм мощностью 2 Вт, который необходимо подключить к выходным контактам (OutA+ и OutA– на рисунке 4). Затем подать питание ± 14 В на генератор, плату предварительного усилителя и плату усилителя мощности, установив максимальный ток ИП около 200 мА. После включения генератора с помощью осциллографа проверить сигнал на выходе усилителя мощности, который по амплитуде должен быть в 20 раз больше входного сигнала. Сигнал следует проверять на частотах около 30 Гц, 1 кГц и 20 кГц.



Рис. 10. Плата одного канала (В) мостового усилителя мощности: а) вид со стороны дорожек; б) вид с обратной стороны

После этого необходимо установить выходные нули на каждом из двух усилителей мощности. Для этого следует отключить питание, отключить от предварительного усилителя генератор и заземлить входной сигнал предварительного усилителя, установив на его входные контакты (VinA и VinB, X1, см. рис. 1) двухконтактную перемычку (джампер). К нагрузке усилителя мощности (1,5 К) подключить цифровой вольтметр. Далее, включив питание и вращая подстроечный резистор предварительного усилителя соответствующего канала (RA3, RB3 на рисунке 1), добиться напряжения на вольтметре около 1 мВ. Меньшее напряжение устанавливать не рекомендуется во избежание перекрытия прямого и инверсного сигналов. Применённые многооборотные резисторы позволяют устанавливать выходное напряжение с точностью около 0,1 мВ. На этом настройка предварительного усилителя и усилителей мощности заканчивается.

Для настройки платы пик-детектора сначала следует заземлить два его входных сигнала, установив трёхконтактную перемычку на его входы (разъём X1, InA и InB на рисунке 3). Далее к выводам 3 или 6 DA1 (и к земле), с которыми контактирует движок подстроечного резистора R6, необходимо подключить цифровой вольтметр. После этого, подав на плату питание ± 14 В и вращая подстроечный резистор R6, добиться выходного напряжения на движке резистора, равного +0,95 В. Затем следует выключить питание, снять перемычку с разъёма X1 и подать на него синусоидальный сигнал частотой около 30 Гц и амплитудой

дой 0,9 В. Включив питание, убедиться, что светодиоды не зажигаются. Далее, увеличив амплитуду до 1 В, убедиться, что светодиоды включаются и выключаются с частотой 30 Гц. На этом настройка пик-детектора заканчивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённые в статье усовершенствования УМЗЧ существенно повысили его надёжность, позволили уменьшить габариты плат, а также продемонстрировали его отличную работу и небольшой нагрев при максимальной мощности около 40 Вт с использованием описанного радиатора. В связи с этим автор рекомендует его для повторения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А. Применение инструментального усилителя для мостового включения двух мощных ОУ. Современная электроника. 2017. № 4–7.
2. Кузьминов А. Двухполярный источник питания УМЗЧ со сверхнизким уровнем пульсаций и токовой защитой. Радио. 2018. № 8.
3. Кузьминов А. Усовершенствованный тонкомпенсированный пассивный регулятор громкости с НЧ-коррекцией. Современная электроника. 2019. № 2.
4. Рутковский Дж. Интегральные операционные усилители. – М.: Мир, 1978.
5. Кузьминов А. Использование мощных полевых транзисторов и операцион-

- ных усилителей в прецизионных регуляторах и стабилизаторах напряжения. Современная электроника. 2012. № 7.
6. Кузьминов А. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в любительских условиях. Радио. 2017. № 10.
7. Кузьминов А. Как изготовить двустороннюю печатную плату своими силами. Радио. 2019. № 2.
8. Кузьминов А. Регулируемый двухполярный блок питания с ограничением тока. Современная электроника. 2017. № 8.
9. Кузьминов А. Звуковой генератор фиксированных частот. Радио. 2012. № 6.



НОВОСТИ МИРА

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В целях выявления текущего уровня готовности отраслевых организаций к цифровой трансформации ЦНИИ «Электроника» совместно с АНО «Цифровая экономика» и журналом «Электроника: НТБ» провели исследование «Цифровая трансформация радиоэлектроники». По его результатам ряд технологий Индустрии 4.0 активно внедряются и применяются в российской радиоэлектронной промышленности.

Наибольшее распространение получили технологии 3D-печати – их используют 18% респондентов, 20% планируют их внедрение в краткосрочной перспективе. С помощью 3D-печати производятся отдельные детали, создаются макеты, прототипы и опытные образцы, изготавливается оснастка для станков с ЧПУ.

Технологии больших данных, Интернета вещей, печатной электроники на данный момент применяют 7% организаций, принявших участие в исследовании, суперкомпьютерные, квантовые и параллельные вычисления – 6% респондентов.

В настоящее время организации-респонденты не применяют технологии виртуальной и дополненной реальности, распределённого реестра и блокчейн, автономные роботы.

В краткосрочной перспективе респонденты планируют развивать первые два направления – 7 и 3% соответственно.

Цифровая трансформация – это возможность освоения производства новых продуктов для 69% респондентов, повышения эффективности для 60%, выхода на новые рынки для 57%. Среди потенциальных опасностей 49% опрошенных организаций россий-



ской радиоэлектронной промышленности отмечают увеличение конкуренции, 47% – снижение спроса на производимый продукт.

Распоряжением Правительства № 1632-р от 28 июля 2017 г. была утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации», призванная активизировать и свести в единую систему процессы цифровой трансформации в нашей стране. Сам документ программы также претерпевает активные изменения – уже в 2018 г. он был трансформирован в национальную программу, при этом со значительными корректировками входящих в его состав планов мероприятий. Программа рассчитана до 2024 г. и по состоянию на сегодняшний день уже можно говорить о том, что пройдена ощутимая часть пути. Главными результатами множества дискуссий и исследований стало формирование понятийной базы, вовлечение в процесс цифровизации большинства крупных игроков рынка, а так-

же подготовка части методологической и нормативной базы, необходимой для интенсификации развития страны в целом. Своим новым исследованием попытались подвести первые итоги формирования цифровой экономики в сфере радиоэлектроники.

Опрос выявил три ключевых фактора, от которых, по мнению респондентов, зависят результаты цифровой трансформации: финансирование, стандартизация и нормативно-методологическая база, кадры. Необходимость создания соответствующей системы правового регулирования и подготовки высококвалифицированных кадров чётко обозначена на государственном уровне – в настоящее время в структуре национальной программы «Цифровая экономика» в качестве отдельных федеральных проектов выделены направления «Нормативное регулирование цифровой среды» и «Кадры для цифровой экономики».

ЦНИИ «Электроника»

Особенности применения детализированных тепловых моделей для тепловых расчётов микросхем в корпусах BGA, LGA и PGA

Алексей Решетников (ar@ensol-ltd.ru),
Владимир Мичурин (pro@ensol-ltd.ru)

В статье рассматриваются основные способы теплового моделирования микросхем в корпусах типа BGA, LGA и PGA, описываются соответствующие им тепловые модели (CTM и DTM), сравниваются их преимущества и недостатки. Приводится подробное описание способа теплового моделирования с использованием детализированных тепловых моделей (DTM) разных типов – с усреднённым и детализированным источником тепла.

При тепловом моделировании средств современной электроники часто возникает задача построения тепловой модели и расчёта нагрева микросхем в корпусах BGA, LGA и PGA. Такие микросхемы присутствуют практически в любом сложном электронном изделии – это могут быть процессоры, мосты, микросхемы маршрутизаторов, чипы оперативной памяти и т.д. Как правило, это наиболее важные функциональные компоненты в устройстве, обеспечение безотказной работы которых (в том числе и правильных тепловых режимов работы) критически важно для работоспособности всего изделия. Такие микросхемы имеют достаточно сложную структуру, высокую мощность тепловыделения и высокие плотности тепловых потоков, что делает задачу их моделирования важной и вместе с тем нетривиальной. Успешность её решения во многом зависит от точности используемой тепловой модели.

В настоящей статье приводится описание и сравнение некоторых видов тепловых моделей BGA-микросхем с указанием их достоинств и недостатков.

Постановка задачи и методы моделирования

Существует несколько методов теплового моделирования микросхем, характеризующихся разной точностью, сложностью, применимостью в той или иной расчётной САПР и т.д. Используемые методы моделирования и тепловые модели делятся на два больших класса – детализированные тепловые модели (DTM – Detailed Thermal Model)

и компактные тепловые модели (CTM – Compact Thermal Model).

В модели DTM с разной степенью детализации воспроизводится реальная физическая структура микросхемы. Такая модель является наиболее точной, и чем детальнее воспроизводится реальная структура чипа, тем точнее получается результат моделирования.

Модели CTM в общем случае не требуют обязательной привязки к реальной структуре микросхем, однако для их интеграции и использования в тепловых моделях всего изделия такая привязка бывает необходимой. CTM представляет собой идеализацию структуры микросхемы в виде цепочки или сети тепловых сопротивлений. В простейшем случае она представляет собой двухрезисторную тепловую модель (two-resistor CTM), в более продвинутом – сеть тепловых сопротивлений (DELPHI CTM) [1]. Компактные модели более просты, требуют существенно меньше вычислительных ресурсов, однако при этом менее точны (иногда – существенно) и хорошо подходят главным образом для типовых сценариев использования микросхем в электронике. DELPHI CTM модели в меньшей степени подвержены обозначенным выше недостаткам и являют собой прекрасный компромисс простоты, удобства использования и точности.

В настоящей статье не рассматриваются особенности моделирования с использованием компактных тепловых моделей, т.к. в рамках такого подхода у инженера-расчётчика не остаётся пространства для манёвра в настройках и модификации модели,

равно как и возможностей совершить ошибку.

Выбор способа моделирования, как правило, зависит не столько от желания и способности инженера-расчётчика подобрать оптимальный способ для данного случая, сколько от доступности информации о тепловых характеристиках микросхемы. К сожалению, не всегда эта информация доступна в необходимом объёме. Также возможны ситуации, когда производитель микросхемы предоставляет сложную DELPHI CTM-модель, а в используемой на предприятии расчётной САПР такие модели не поддерживаются (как, например, в SolidWorks flowSimulation). В таких случаях у расчётчика есть возможность повысить точность теплового моделирования, доступную для двухрезисторной модели (данные для которой доступны практически всегда) построением собственной DTM-модели, пусть и не самой высокой степени детализации микросхемы.

О некоторых особенностях использования и построения DTM-моделей для BGA (а также LGA и PGA) микросхем и пойдёт речь далее, хотя стоит заметить, что аналогичный подход может быть применим и для других типов корпусов. Главное условие – знание структуры и тепловых свойств материалов микросхемы.

Общая стратегия моделирования с использованием собственной DTM-модели будет следующей:

- построение двухрезисторной модели и использование полученных на ней результатов в качестве грубой оценки (погрешность расчёта на двухрезисторной модели может достигать до 30% [2]);
- дальнейшее уточнение расчёта на детализированной модели (DTM).

Стоит отдельно заметить, что двухрезисторная модель даёт усреднённое значение температуры по кристаллу – т.е. если зоны нагрева распределены по кристаллу неравномерно, локализованы на какой-то его части, двухрезисторная модель может давать заниженные значения.

ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ BGA-МИКРОСХЕМЫ

В самом общем и упрощённом виде структуру интегральной микросхемы в корпусе типа BGA можно описать следующим образом – непосредственно кристалл микросхемы (die) закрепляется тем или иным способом на подложке (substrate), на которой в свою очередь расположен массив шариков припоя (solder balls), посредством которых корпус с микросхемой монтируется на печатную плату изделия.

Кристалл микросхемы может быть дополнительно закрыт корпусом или оставлен открытым. Способов крепления кристалла к подложке также существует несколько [3–4]. Все эти особенности влияют на параметры тепловой модели и должны учитываться при её построении. Для примера на рисунке 1 приведена структура FC-BGA-корпуса с закрытым крышкой кристаллом, прикреплённым к подложке по технологии flip-chip, который часто используется для современных микропроцессоров. Главными компонентами корпуса являются:

- шарики припоя (solder balls) или сокет;
- подложка (substrate);
- бампы (bumps);
- кристалл (die);
- термоинтерфейс (TIM);
- крышка корпуса (LID).

Корпуса PGA и LGA имеют похожую структуру, с той лишь разницей, что их монтаж на материнской плате осуществляется не пайкой, а установкой в сокет, соответственно, вместо шариков припоя на корпусе микросхемы размещены контактные площадки или ножки.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДЕТАЛИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ

В геометрии тепловой модели воспроизводятся главные структуры микросхемы: кристалл, подложка, шарики припоя и крышка. Термоинтерфейс и бампы целесообразнее представить в виде контактного теплового сопротивления из-за очень малой толщины этих структур по сравнению с другими структурами микросхемы.

Стоит заметить, что в такой модели не учитывается в полной мере сложная структура подложки и кристалла. В самом простом случае они задаются материалом с ортотропными свойствами – усреднёнными значениями теплопроводности в направлении вдоль и поперёк плоскости.

Наибольшее влияние на точность модели оказывает точное задание

области тепловыделения на кристалле. В самом общем случае, когда о структуре кристалла нет никакой информации, приходится задавать тепловыделение по всему объёму или всей лицевой поверхности. Физически микроструктуры элементов схемы кристалла расположены в достаточно тонком (в 100 раз тоньше, чем толщина кристалла [5]) слое кремния, поэтому правильнее задавать мощность планарным тепловым источником.

Как правило, у сложных микросхем кристалл выделяет тепло неравномерно – есть локальные зоны, типа вычислительных ядер, на которых выделяется практически вся мощность, в то время как на остальной части кристалла тепловыделение практически отсутствует. В детализированных тепловых моделях от производителей микросхем этот момент обязательно учитывается, однако даже если такая модель недоступна, можно учесть его на основе открытых данных о структуре ядра. Пример такой локализации для процессора Intel Core i7 показан на рисунке 2, который размещён на сайте Intel [6].

В настоящей статье приводится сравнение двух типов детализированных моделей – с усреднённым тепловым источником и с локализованным тепловым источником.

Общий подход к моделированию, граничные условия и параметры модели

Для моделирования нагрева микросхемы помимо информации о структуре микросхемы, мощности тепловыделения и характере теплового источника, необходимо знать, в каких внешних условиях работает микросхема, т.е. как она установлена на материнскую плату и какими параметрами обладает используемая система охлаждения.

Для сравнения методик в настоящем документе берётся случай микросхемы процессора, установленного на серверную материнскую плату с системой охлаждения, которая представляет собой радиатор, обдуваемый потоком воздуха определённой скорости. Скорость потока воздуха полагалась равной 5 м/с, а его температура +20°C. Эти параметры соответствуют типичным характеристикам систем охлаждения в современных дата-центрах. Мощность процессора составляет 50 Вт.

Поскольку в данной задаче моделируется непосредственно процессор, вне системы (сервера), для упрощения расчёта берётся небольшой фраг-

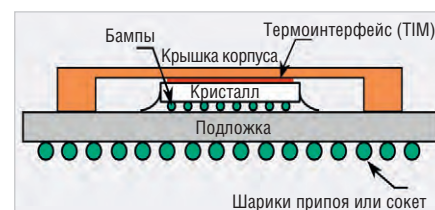


Рис. 1. Структура микросхемы в корпусе FC-BGA

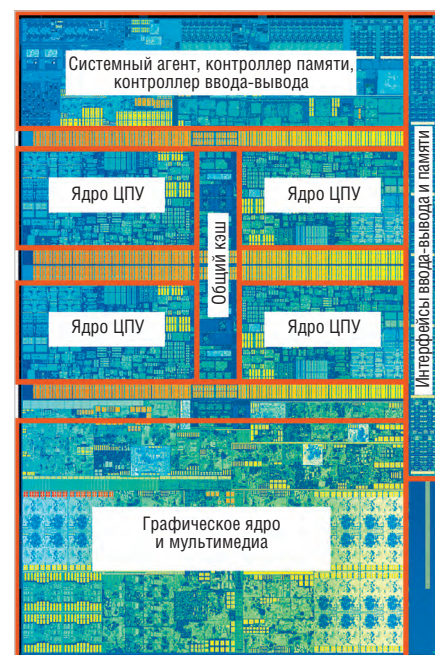


Рис. 2. Карта структур кристалла процессора Intel Core i7

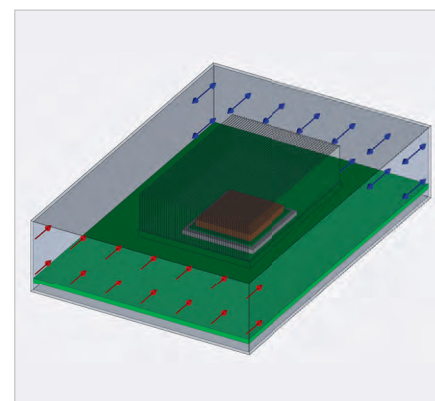


Рис. 3. Общий вид модели

мент материнской платы вокруг процессора, помещённый в условный корпус, ограничивающий воздушный поток таким образом, что имитируются условия, типичные для обычного 1U вычислительного сервера. Общий вид тепловой модели показан на рисунке 3.

ДЕТАЛИЗИРОВАННАЯ ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ С УСРЕДНЁННЫМ ИСТОЧНИКОМ

Согласно рассматриваемой методике тепловая модель строится следующим

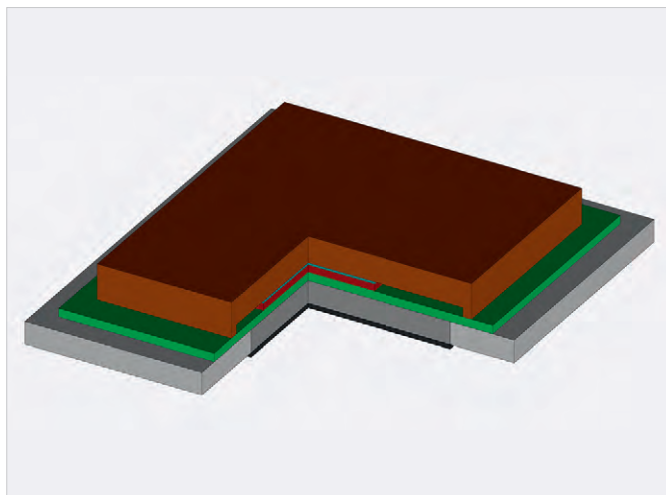


Рис. 4. Модель процессора в корпусе LGA, установленного в socket

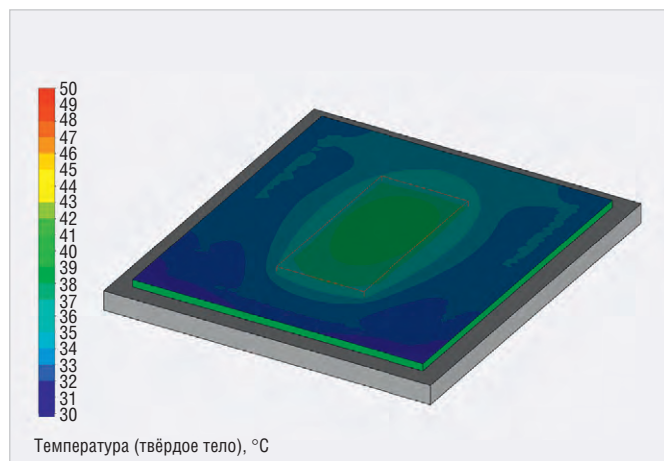


Рис. 5. Усреднённый тепловой источник (температура на подложке и поверхности кристалла)

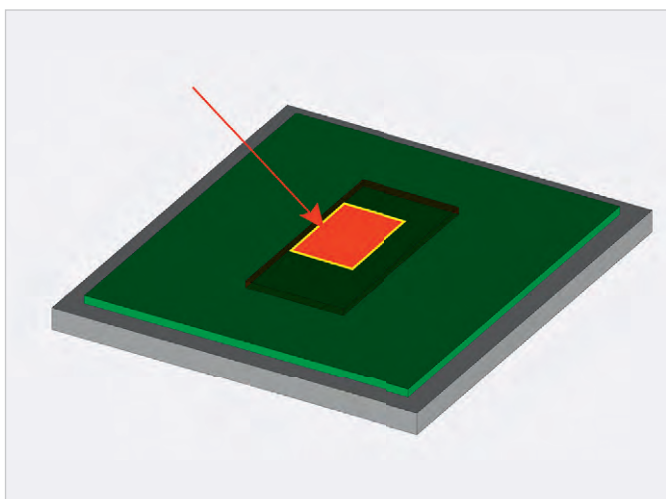


Рис. 6. Область тепловыделения на кристалле процессора

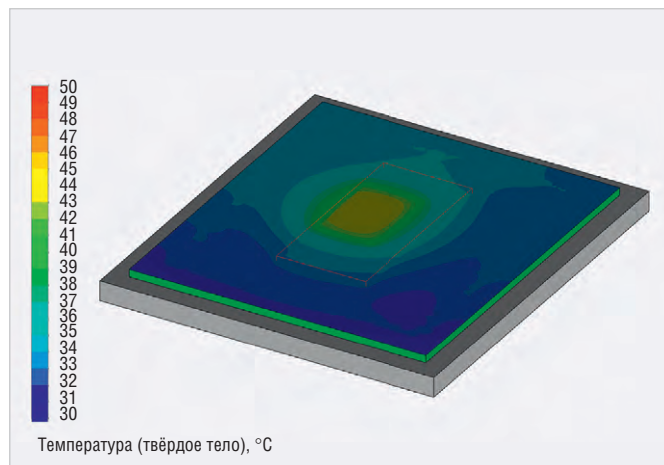


Рис. 7. Детализированный тепловой источник (температура на подложке и поверхности кристалла)

щим образом. Задаются геометрические примитивы в виде параллелепипедов, имитирующие главные элементы структуры микросхемы. Для каждого такого примитива задаётся материал с соответствующими свойствами теплопроводности и теплоёмкости, для некоторых структур, например, подложки – с ортотропными. Далее задаётся тепловой источник – в данном случае объёмный, на весь кристалл, или поверхностный, на всю площадь нижней поверхности кристалла (см. рис. 4).

Главный недостаток такой модели, как уже было замечено, усреднённое распределение тепловыделения на кристалле – мощность тепловыделения в реальном кристалле распределена неравномерно по его поверхности. На кристалле имеются горячие участки, соответствующие, например, вычислительным ядрам, которые выделяют большую часть мощности. Таким образом, усреднение тепловыделения по всему кристаллу занижает максимальную температуру нагрева, что

приводит к неверной оценке эффективности охлаждения микросхемы и неверной оценке работоспособности изделия при определённых условиях (как правило, при повышенных температурах) окружающей среды. Фактически такие расчёты дают слишком оптимистичный результат, что в реальности может привести к использованию недостаточно эффективной системы охлаждения и перегреву изделия. Зная о таком недостатке модели, разработчик вынужден завышать параметры системы охлаждения, что, в общем случае, ухудшает характеристики изделия – увеличиваются его вес, габариты, уровень шума и пр.

В результате моделирования с заданными условиями установлено, что максимальная температура кристалла процессора составляет $+38^{\circ}\text{C}$, и она равна средней температуре кристалла.

На рисунке 5 показано распределение температур на поверхности подложки, в том числе и в зоне контакта с кристаллом, т.е. в зоне расположения

теплового источника (зоне максимального нагрева). Видно, что нагрев практически равномерный, без каких-либо горячих областей.

ДЕТАЛИЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ С ДЕТАЛИЗИРОВАННЫМ ИСТОЧНИКОМ

Детализированная модель в общем повторяет предыдущую (с усреднённым источником) за исключением её главного недостатка. Теперь тепловыделение задаётся только в тех зонах кристалла и в таком объёме, где оно действительно присутствует. В данном случае зона активного тепловыделения расположена на части кристалла процессора, соответствующей вычислительным ядрам, и находится в рамках прямоугольника, как показано на рисунке 6. Соответственно, в тепловой модели мощность задаётся поверхностным источником на нужную область.

Согласно результатам детализированного моделирования средняя температура кристалла осталась рав-

ной +38°C, а максимальная температура составляет уже +46°C! На рисунке 7 хорошо видно, что нагрев распределяется неравномерно, и на кристалле есть горячие области.

Выводы

Сравнение двух способов показывает, что детализированная модель с усреднённым тепловым источником даёт более оптимистичный результат, чем есть на самом деле, если структура тепловыделения кристалла микросхемы неравномерна, и тепловыделение сконцентрировано зонально. В худшем случае такая неверная оценка может привести к выбору недостаточно эффективной системы охлаждения и неработоспособности изделия из-за перегрева. При этом, даже зная такой недостаток методики, слож-

но достоверно оценить ошибку, что в свою очередь вынуждает делать оценку с запасом, и выбирать избыточную по характеристикам систему охлаждения. К достоинствам модели с усреднённым тепловым источником можно отнести её простоту.

В случае, когда структура микросхемы и характер теплового источника известны, для расчётов стоит применять более точную модель с детализированным источником тепла. Её несомненным преимуществом является более точная оценка нагрева микросхемы, а значит, и возможность спроектировать оптимальную по характеристикам и эффективную систему охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. DELPHI COMPACT THERMAL MODEL GUIDELINE <http://www.simu-cad.com/>

userfiles/images/ZaiXianXiaZai/8642da64c6394e3c8bf10ed2445ed914.pdf

2. Compact thermal modeling in electronics design <https://www.electronics-cooling.com/2007/05/compact-thermal-modeling-in-electronics-design/>
3. Fundamentals of semiconductor manufacturing and process control / Gary S. May, Costas J. Spanos. ISBN-13: 978-0-471-78406-7
4. Packaging technology for Image-processing LSI <https://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol49-1/paper21.pdf>
5. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок. Изд. Радио и связь. 1989.
6. <https://newsroom.intel.com/press-kits/7th-gen-intel-core/>



НОВОСТИ МИРА

«Микрон» представил на выставке «ЭкспоЭлектроника» 26 новинок

На 22-й международной выставке «Экспо-Электроника-2019» «Микрон» представил 26 уникальных разработок для Интернета вещей, цифровизации экономики и бизнеса, автоэлектроники и критической инфраструктуры.

«За год у нас появилось более 50 новых партнёров – дистрибьюторы, интеграторы, разработчики и производители устройств в тех сегментах, которые являются сегодня драйверами роста микроэлектроники. Партнёрство и выстраивание коопераций – это единственный путь нам вместе вырастить рынок», – отметила генеральный директор ПАО «Микрон» Гульнара Хасьянова.

Среди новинок, представленных впервые публично, в том числе совместные разработки с НИИМЭ, НИИ «Восход», Evo Devices, ISBC и другими партнёрами: двухканальный LED-драйвер для автоэлектроники; первый российский модуль NB-IoT с криптозащитой данных; электронные документы нового поколения со встроенной микросхемой; трекер контроля условий грузоперевозок; контроллер для систем уличного освещения; счётчики ЖКХ для воды и электричества с радиомодулем LoRa; устройство контроля наполненности контейнера ТБО; система контроля доступа для критической инфраструктуры с криптографией на аппаратном уровне; первый отечественный UHF-чип; RFID-система защиты музейных экспонатов и картин; «RFID-сомелье»; RFID-бирка для авиабагажа; карты досту-



па и умные бейджи для массовых мероприятий, включая Чемпионат мира по футболу 2018 и Всемирную зимнюю универсиаду 2019 года в Красноярске. Также были представлены транспортные билеты в разных форм-факторах и идентификационные документы и банковские карты на базе микросхем первого уровня, HF- и UHF-метки различного функционала для инвентаризации и учёта, управления доступом, защиты бренда, контроля контрафакта, автоматизации бизнес-процессов.

Экспозицию посетили делегации и представители Минпромторга РФ, Московского экспертного центра, Правительства Москвы, Московской городской Думы, Московской Торгово-промышленной палаты, Представительства Тайбэйско-Московской координационной комиссии по экономическому и

культурному сотрудничеству, Комиссии по машиностроению Российского Союза промышленников и предпринимателей, Корпорации развития Московской области, отраслевых предприятий и вузов.

Работа коллективного стенда была организована совместно с ВЗПП-Микрон, ЗПП, Завод «Марс», НЗПП с ОКБ, НИИМЭ, НИИЭТ, НИИМА «Прогресс».

Во время работы на выставке состоялся ряд переговоров по развитию совместных проектов, заключён партнёрский договор, а также организован клиентский семинар по новым изделиям, который посетили более 100 человек. Представители «Микрона» приняли активное участие в деловой программе по актуальным вопросам развития микроэлектроники.

Пресс-служба ГК «Микрон»

Внутрисхемное измерение параметров дросселей и трансформаторов в ИИП

Уилсон Ли (Tektronix)

Дроссели и трансформаторы являются сердцем импульсных источников питания и используются в фильтрах, повышающих/понижающих преобразователях, устройствах развязки, накопителях энергии и генераторах. Обеспечение их нормальной работы требует проведения тщательных внутрисхемных измерений в рабочих условиях. Современные осциллографы с прикладным ПО анализа мощности предлагают быстрые настройки и повышенный уровень воспроизводимости измерений.

В импульсных источниках питания (ИИП) важную роль играют индуктивные компоненты, а именно дроссели и трансформаторы. В процессе проектирования ИИП приходится опираться на технические характеристики компонентов и их модели для симуляторов, однако в реальных условиях паразитные сигналы, температура и другие внешние воздействующие факторы могут влиять на характеристики индуктивных компонентов, вследствие чего источник питания будет работать не так, как можно было бы предположить на основе технических характеристик и моделирования. В результате внутрисхемные измерения дросселей и трансформаторов в рабочих условиях играют определяющую роль в обеспечении надёжной работы ИИП.

Далее речь пойдёт об основах работы дросселей и трансформаторов, особенно в отношении внутрисхемных измерений, применении осциллографов и пробников во время работы источника питания, а также об определении значений индуктивности и построении кривых $B-H$ для оценки технических характеристик.

Принцип действия дросселей

Согласно законам Ленца и Фарадея, ток, протекающий через дроссель, и

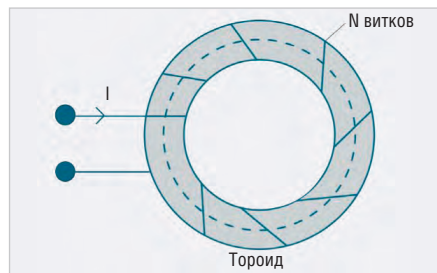


Рис. 1. Простейший дроссель – обмотка на замкнутом ферромагнитном сердечнике

напряжение на нём связаны уравнением:

$$U = -L \times \frac{di}{dt}.$$

Отсюда следует, что индуктивность можно представить как некий коэффициент преобразования скорости изменения тока в напряжение противоположного знака. Интегрируя, перегруппировывая и пренебрегая знаком, можно получить следующее уравнение для индуктивности:

$$L = - \frac{\int U \times dt}{i}.$$

Из этого уравнения следует, что индуктивность можно определить как функцию, зависящую от изменения тока и напряжения во времени. Такое измерение во временной области лучше выполнять осциллографом, оснащённым пробником напряжения и пробником тока, а также способным выполнять интегрирование и строить графики зависимостей в координатах X и Y .

В отличие от идеального дросселя, индуктивность реального дросселя зависит от величины тока, температуры и рабочей частоты. В источнике питания эти параметры могут зависеть от режимов работы и меняться во времени.

Например, индуктивность тороидального дросселя, показанного на рисунке 1, можно приблизительно определить по формуле:

$$L \approx \frac{\mu \times N^2 \times A}{2\pi \times r},$$

где: μ – магнитная проницаемость сердечника, N – число витков обмотки, r – радиус сердечника в сантиметрах (измеренный до центральной

пунктирной линии), A – площадь поперечного сечения сердечника в квадратных сантиметрах (предполагается малой по сравнению с радиусом тороида).

Поскольку в формуле представлено число витков в квадрате, оно даёт максимальный вклад в значение индуктивности. Магнитная проницаемость материала сердечника также играет значительную роль, однако значение индуктивности зависит и от геометрических размеров компонента. Чтобы минимизировать размер дросселей, в них, как правило, используют материалы, магнитная проницаемость которых значительно превышает магнитную проницаемость воздуха.

Таким образом, характеристики материала и геометрия сердечника сильно влияют на значение индуктивности в разных рабочих условиях, а также на потери мощности в устройстве.

Измерение индуктивности

Для определения необходимых значений индуктивности разработчики источников питания обычно используют методы моделирования. После изготовления дросселя его индуктивность проверяют с помощью измерителя RLC, однако большинство таких измерителей подаёт на измеряемый компонент синусоидальный сигнал в узком диапазоне частот, поэтому, хотя этот метод вполне пригоден для грубой оценки индуктивности, он плохо предсказывает характеристики дросселя в реальной схеме.

Индуктивность дросселя зависит от протекающего через него тока и напряжения, формы и частоты сигнала возбуждения, которые в реальных условиях могут меняться со временем, поэтому важно измерять и наблюдать поведение дросселя непосредственно в динамически изменяющейся среде источника питания.

Такие измерения можно выполнить, регистрируя напряжение на устройстве, как правило с помощью дифференциального пробника. Для измерения тока, протекающего через индуктивный компонент, обычно используется пробник

тока. Для определения индуктивности встроенная в осциллограф программа анализа мощности интегрирует напряжение по времени и делит результат на величину изменения тока. Кроме того, она устраняет постоянное смещение и использует усреднение для расчёта индуктивности.

Измеряя индуктивность трансформатора, важно отключить нагрузку от вторичной обмотки. Измерение первичной обмотки трансформатора без нагрузки эквивалентно измерению дросселя с одной обмоткой. При определении значений индуктивности связанной катушки с несколькими обмотками на одном сердечнике полученные данные будут отличаться от реальных из-за влияния тока, протекающего в других обмотках.

На рисунке 2 показано измерение среднего значения индуктивности в генри. Жёлтая кривая (канал 1) представляет собой напряжение на дросселе, а синяя кривая (канал 2) – ток, протекающий через него. Левый график показывает зависимость тока i от $\int U \times dt$, наклон которой равен индуктивности.

На рисунке 3 показана измеренная зависимость i от $\int U$, которая позволяет глубже понять поведение индуктивности. Здесь наблюдается постоянное смещение, накапливающееся за миллисекундные периоды. Жёлтая кривая (канал 1) представляет собой напряжение на дросселе, а синяя кривая (канал 2) – ток, протекающий через него.

ИЗМЕРЕНИЕ КРИВОЙ В-Н

Индуктивные компоненты источника питания проектируются в расчёте на определённые напряжение, ток, топологию и конкретный тип силового преобразователя. Рабочие режимы дросселей и трансформаторов помогают достичь стабильности импульсного источника питания. Однако рабочие характеристики источника могут отличаться во время включения, стабильной работы, при изменении нагрузки и условий окружающей среды, что сильно усложняет учёт всех возможных сценариев в процессе проектирования.

Для обеспечения стабильности ИИП важно определить рабочую область индуктивного компонента. Как правило, нужно не допустить насыщения сердечника и обеспечить работу в линейной области кривой гистерезиса. Тем не менее расчёт индуктивного компонента и обеспечение его



Рис. 2. Измерение среднего значения индуктивности, Гн

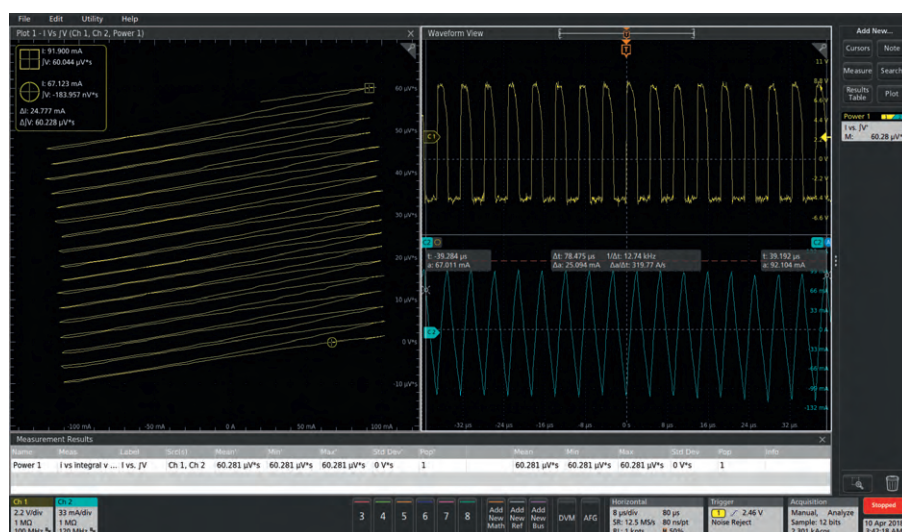


Рис. 3. Измеренная зависимость i от $\int U$

работы в линейной области гистерезиса во всех условиях является очень сложной задачей.

Кривые $B-H$, аналогичные той, что показана на рисунке 4, помогают разработчикам визуализировать поведение дросселя и его сердечника. В данном примере H представляет собой напряжённость магнитного поля в устройстве. Она измеряется в А/м и пропорциональна току:

$$H = \frac{i \times N}{l}$$

Результирующая магнитная индукция B пропорциональна интегралу от напряжения на устройстве. Магнитная индукция измеряется в теслах и характеризует силу магнитного поля. Она определяет силу воздействия магнитного поля на движущийся заряд.

Эта кривая позволяет оценить следующие важные характеристики:

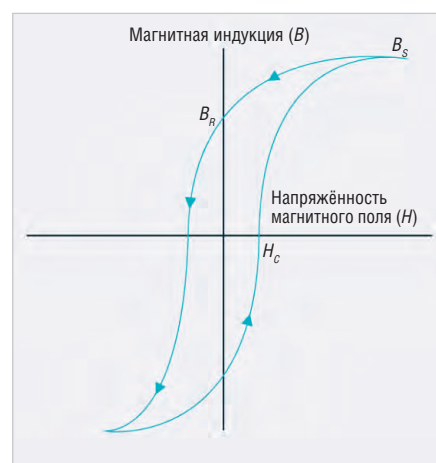


Рис. 4. Кривая $B-H$

- магнитная проницаемость μ (измеряется в Гн/м; является характеристикой материала сердечника и равна скорости, с которой напряжённость магнитного поля H (зависящая от тока) порождает магнитную индукцию B (интеграл от напряжения); рав-

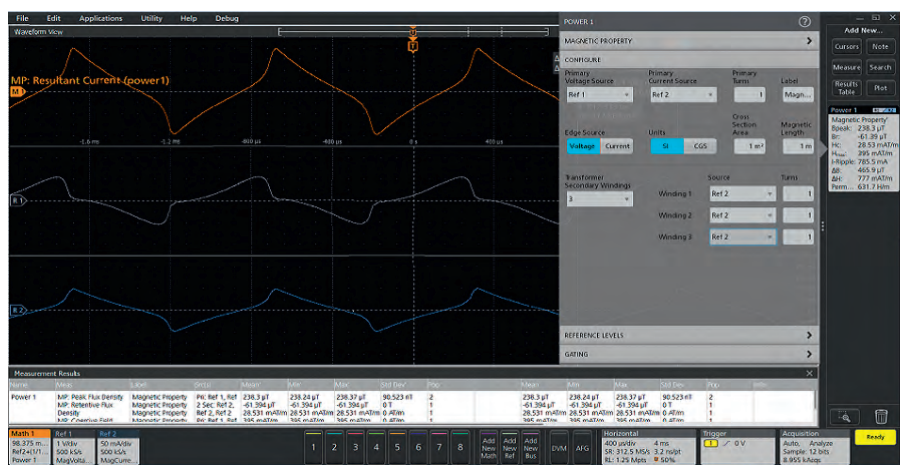


Рис. 5. Измерение характеристик трансформатора с несколькими вторичными обмотками

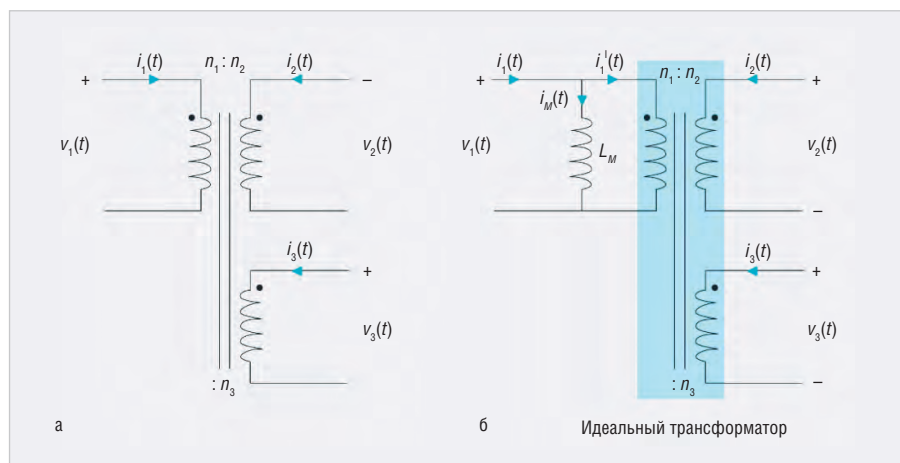


Рис. 6. Учёт индуктивности намагничивания: а) в схеме трансформатора; б) в эквивалентной схеме

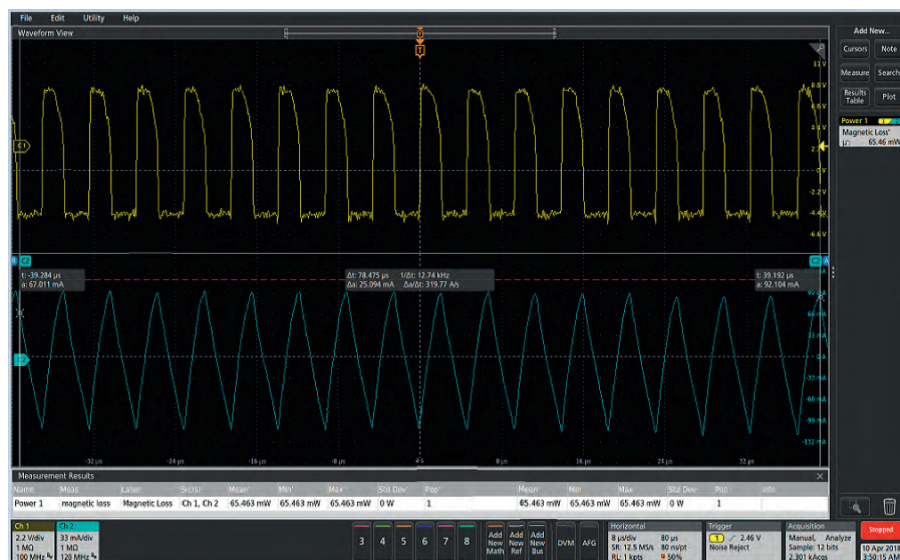


Рис. 7. Пример измерения полных магнитных потерь

на наклону кривой $B-H$; для создания компактных дросселей и трансформаторов разработчики используют материалы с большой магнитной проницаемостью);

- магнитная индукция насыщения (точка, в которой дальнейший рост напряжённости магнитного поля H

перестаёт порождать дополнительный рост магнитной индукции B ; в большинстве источников питания разработчики должны избегать насыщения);

- параметры гистерезиса (гистерезисом называется «ширина» кривой $B-H$, и он характеризует потери ис-

точника питания; большинство разработчиков старается применять магнитомягкие материалы с малым значением остаточной намагниченности B_R – магнитной индукции, которая остаётся в материале после снятия магнитного поля, и малой коэрцитивной силой C , равной значению H , необходимому для снижения магнитной индукции B до нуля).

Потенциальную стабильность можно определить по следующим признакам:

- если измеренная пиковая магнитная индукция приближается к магнитной индукции насыщения, определённой в технических характеристиках, это означает, что компонент приближается к точке насыщения;
- если кривые $B-H$ меняются от периода к периоду, это свидетельствует о наличии насыщения; в стабильном источнике питания кривая $B-H$ имеет симметричный обратный ход и сохраняет форму от периода к периоду.

Для внутрисхемного измерения напряжения на дросселе и тока, протекающего через его обмотку, можно использовать осциллограф. Зная число витков обмотки, магнитную длину устройства и площадь поперечного сечения сердечника, можно определить реальные значения B и H по формам напряжения и тока, измеренным с помощью осциллографа.

Для построения кривой $B-H$ нужно измерить напряжение на индуктивном элементе и протекающий через него ток. В случае трансформатора интерес представляют токи, протекающие через первичную и вторичную обмотки. Высоковольтный дифференциальный пробник подключается к дросселю или к первичной обмотке трансформатора. Токовый пробник измеряет ток, протекающий через дроссель или первичную обмотку трансформатора. Кроме того, при необходимости токовые пробники используются для измерения токов, протекающих через вторичные обмотки.

На рисунке 5 показаны измерения трансформатора с несколькими вторичными обмотками. Кривая Ref 1 (в центре) представляет собой напряжение на дросселе, а кривая Ref 2 (снизу) – протекающий ток. В данном случае показана математически рассчитанная форма тока (сверху), поскольку осциллограф был настроен на измерение нескольких вторичных обмоток.

Кривые В-Н для трансформаторов

Для измерения характеристик трансформатора в рабочих условиях нужно учесть ток, переданный во вторичную обмотку. Измеряя кривую В-Н трансформатора полезно учитывать теоретический элемент, называемый индуктивностью намагничивания.

Током намагничивания называется ток, протекающий через первичную обмотку трансформатора при разомкнутой (ненагруженной) вторичной обмотке. Другими словами, ток намагничивания не порождает ток во вторичной обмотке. Как показано на рисунке 6, трансформаторы моделируются с током намагничивания, протекающим через индуктивность намагничивания, включённую параллельно первичной обмотке. Индуктивность намагничивания L_m моделирует магнитные характеристики трансформатора.

Анализ потерь

Потери в индуктивных компонентах дают существенный вклад в потери источника питания. Потери в сердечнике зависят от магнитных свойств материала и включают потери на гистерезис и потери на вихревые токи. Потери в меди связаны с сопротивлением обмоток, а также зависят от нагрузки, подключённой к вторичной обмотке трансформатора.

Для оценки потерь в сердечнике применяются разные методы. Один из наиболее популярных методов использует эмпирическую формулу Штейнмеца, которая связывает потери в сердечнике с частотой и магнитной индукцией:

$$P_{Core} = k \times f^a \times B^b,$$

где k , a и b – константы, описывающие материал сердечника и обычно приведённые в техническом описании. Кроме того, в техническом описании могут приводиться приближенные значения потерь на разных частотах и для различных значений магнитной индукции, но, как правило, эти значения даются для синусоидальных сигналов. Однако в реальных системах питания компоненты обычно возбуждаются несинусоидальными сигналами, что порождает погрешность подобных оценок.

Для вычисления полных магнитных потерь путём усреднения произведения кривых напряжения и тока $U(t) \times i(t)$ можно использовать осциллографическое приложение. При



**НАДЁЖНОСТЬ
БЕЗОПАСНОСТЬ
РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ**

**Программно-аппаратные комплексы
с операционной системой
реального времени**

QNX ProSoft® ADVANTIX

ProSoft® **ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК**
(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



использовании этого метода рассчитываются полные магнитные потери, включающие потери в меди и в сердечнике. Пример такого расчёта показан на рисунке 7. Потери в сердечнике могут быть приведены в документации производителя. В этом случае можно найти потери в меди, вычтя потери в сердечнике из полных магнитных потерь.

Осциллографы могут рассчитывать магнитные потери дросселей с одной обмоткой, с несколькими обмотками

и даже трансформаторов. В случае трансформатора с одной обмоткой дифференциальный пробник используется для измерения напряжения на первичной обмотке. Токовый пробник измеряет ток, протекающий через трансформатор, затем программа измерения мощности может автоматически рассчитать магнитные потери.

Таким образом, имея под рукой нужные приборы, соответствующие измерения можно выполнить сравнительно быстро и легко.



Концентрация энергии электромагнитного поля для нагрева

Игорь Иванов (vela-kim@mail.ru), Александр Курушин (kurushin@mail.ru)

В статье представлены расчёт и экспериментальное исследование устройства концентрации электромагнитного поля в пространстве. Расчёт и оптимизация конструкции выполнены с использованием системы электродинамического моделирования CST SUITE. Результаты показали, что температура в целевом объекте на расстоянии 10 м от излучателя может увеличиваться до +500°C за время экспонирования, равное 10 с.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в концентрации энергии электромагнитных (ЭМ) волн СВЧ-диапазона может возникать в следующих случаях. Во-первых, при информационном использовании, включающем в себя связь, радиолокацию, телевидение, зондирование различных объектов, разведку полезных ископаемых, радиоэлектронное противодействие и т.п. Во-вторых, при энергетическом использовании СВЧ-колебаний: различные виды СВЧ-нагрева (в т.ч. плазмы), передача энергии на расстояние, воздействие электромагнитных волн на полупроводниковые СВЧ-приборы и биологические объекты с целью нагрева и нарушения их работоспособности.

Предполагается, что при воздействии СВЧ-энергии на объект происходит превращение энергии СВЧ-поля в энергию хаотических колебаний молекул, т.е. повышение температуры. Изменение состояния биологического объекта под действием облучения в настоящее время до конца не исследовано.

В статье рассматривается энергетическое использование СВЧ-излучения на объект. Оно не требует столь высокой степени концентрации энергии, как информационное использование, однако для повышения его эффективности большое значение имеет согласование излучающего устройства с облучаемым объектом. В настоящее время специальное конструирование приборов для энергетических целей практически не ведётся.

Метод концентрации энергии в пространстве

Для того чтобы выполнить суммирование мощностей СВЧ-генераторов с различными собственными частотами, необходимо обеспечить соответствующие фазовые сдвиги в системе обратных связей от устройства суммирования [1, 2]. В этом случае генераторы аддитивно работают на одной частоте с коэффициентом суммирования $K_{\text{сум}} = P_{\text{сум}} / \sum P_n$, близким к 1.

Теоретический вопрос синхронизации и суммирования двух высокочастотных генераторов достаточно подробно рассмотрен в работе [2], в

которой, в частности, показано, что решение нелинейного дифференциального уравнения для разности фаз между основным и синхронизирующим сигналом имеет вид:

$$\sin \varphi = \frac{Q_{\text{внеш}} \times (\omega_1 - \omega)}{|\rho| \times \omega_0},$$

где φ – мгновенная разность фаз между колебаниями генератора и синхронизирующим сигналом, $Q_{\text{внеш}}$ – внешняя добротность, ρ – коэффициент отражения, ω_1 – частота синхронизирующего сигнала, ω – частота свободных колебаний при наличии нагрузки, ω_0 – собственная частота колебаний генератора. Синхронизация возможна при $|\sin \varphi| < 1$. Условие синхронизации

$$|\omega_1 - \omega| \leq \frac{|\rho|}{Q_{\text{внеш}}} \omega_0$$

определяет полосу «захвата». Синхронизация генераторов обеспечивает увеличение мощности и одновременно улучшает частотную стабильность системы, что существенно для информационных и энергетических систем.

Для энергетического воздействия на объекты, находящиеся на расстоянии ближнего поля радиопередатчика ЭМ-энергии, необходимо в малой области создать ЭМ-поле с большой напряжённостью, которое, переходя в тепло, повышает температуру до температуры необратимых изменений свойств материала (возгорания, плавления, механического разрушения, пробоя или химического преобразования). Одним из очевидных способов решения такой задачи является использование антен-

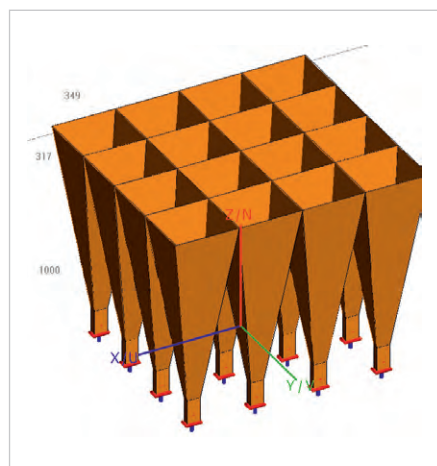


Рис. 1. Рупорная структура ФАР с 16 излучателями

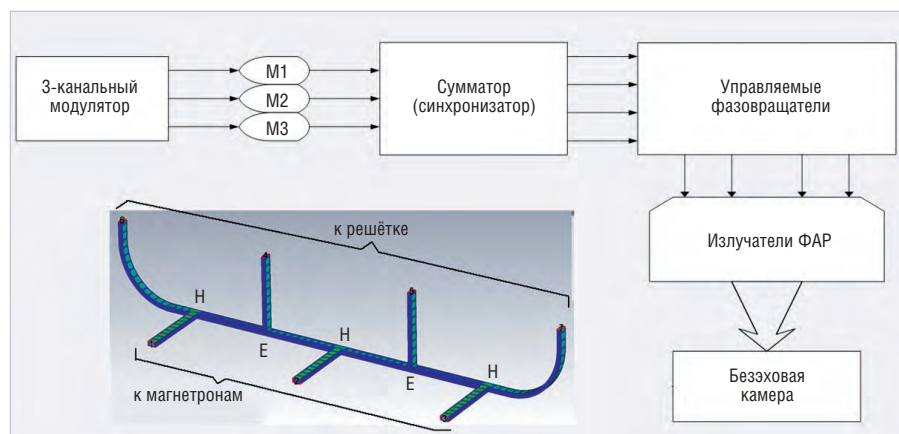


Рис. 2. Структура системы концентрации поля (3/4)

ной решётки. В данном случае были применены 9 магнетронных генераторов, работающих на рупорную структуру ФАР с 16 излучателями (см. рис. 1), каждый из которых способен излучать ЭМ-энергию мощностью 1 кВт.

В качестве базовой схемы для суммирования и синхронизации магнетронных генераторов была выбрана схема Е. Дэвида [2] на основе волноводов сечением 34×72 мм. На рисунке 2 представлена схема для трёх магнетронных генераторов (3/4), которая в дальнейшем была расширена для излучателя 9/16. Данная схема включает в себя три тройника Н-типа и два тройника Е-типа, связанные между собой отрезками волноводов. При этом порты 1–3 являются входными, а порты 4–7 – выходными.

С помощью математического моделирования были выполнены расчёт и оптимизация геометрических размеров сумматора для работы на частоте входных сигналов используемых генераторов. В результате проведения оптимизации:

- обеспечено равномерное распределение мощности на выходных портах схемы ($P_{\text{вых1}} \approx P_{\text{вых2}} \approx P_{\text{вых3}} \approx P_{\text{вых4}}$, при этом разброс $\Delta P_{\text{вых}}$ составил не более 5%);
- обеспечено необходимое равномерное распределение отражённой мощности на входных портах схемы ($P_{\text{отр1}} \approx P_{\text{отр2}} \approx P_{\text{отр3}}$, при этом разброс $\Delta P_{\text{отр}}$ составил не более 5% при отражении $\rho < -10$ дБ);
- обеспечена необходимая рабочая полоса частот не менее 200 МГц;
- коэффициент суммирования ($K_{\text{сум}} = \Sigma P_{\text{вых}} / \Sigma P_{\text{вх}}$) составил 0,8.

После проведения расчётов был изготовлен экспериментальный образец схемы. Для питания 16 выходов использована система с 12 входами. Для дальнейшей концентрации поля были произведены расчёт и изготовление фазированной решётки (излучатель ФАР).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛЯ

Для расчёта мощности поглощения в целевом объекте могут использоваться современные программы электродинамического моделирования, такие как FEKO Altair, HFSS ANSYS. Однако в настоящее время наиболее подходящей для этих целей является программа CST SUITE, которая с большой точностью позволяет рассчитать повышение температуры в

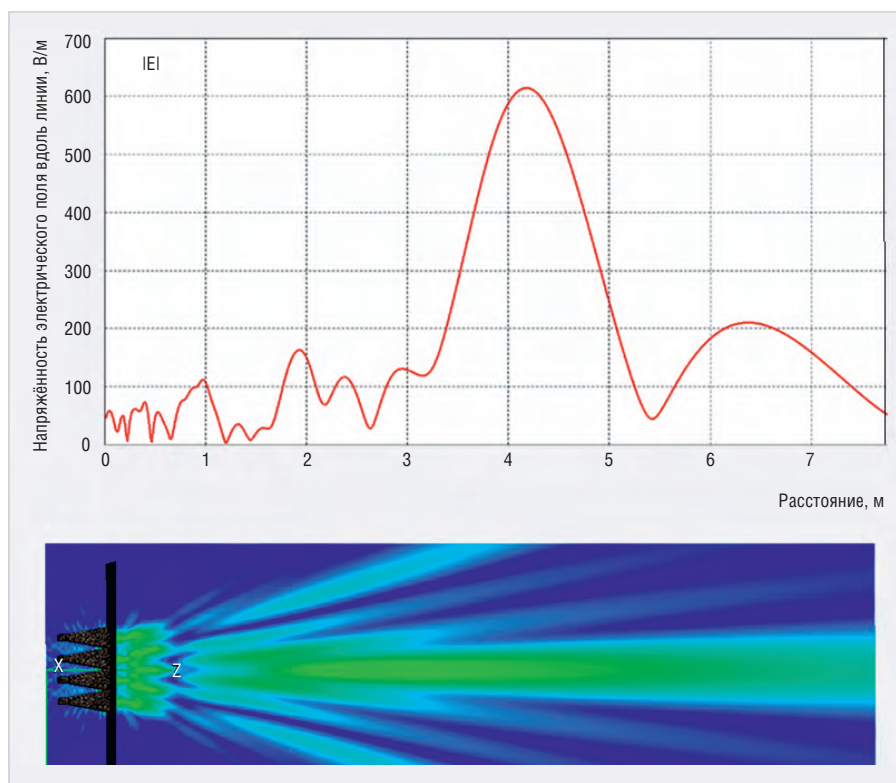


Рис. 3. Ближнее поле ФАР и напряжённость электрического поля вдоль оси излучения

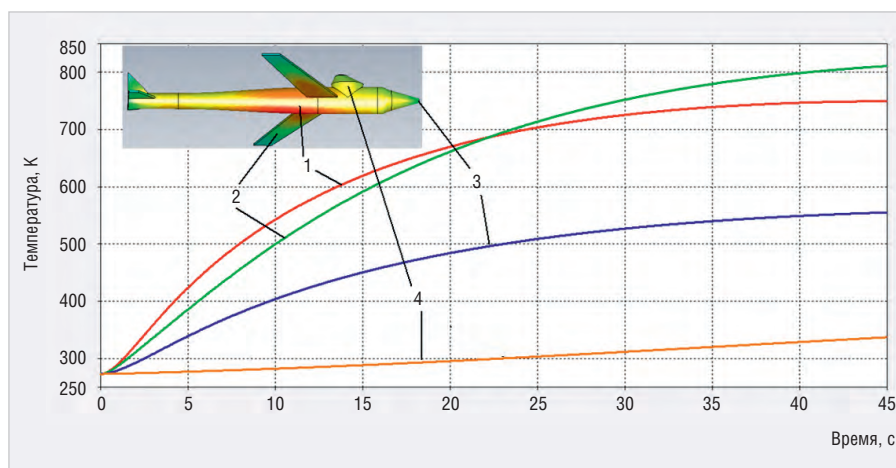


Рис. 4. Расчёт динамического изменения температуры облучаемого объекта на CST MWS

среде, на которую воздействует ЭМ-поле (см. рис. 3), а также поток частиц, воздействующих на электронные приборы, находящиеся в целевом объекте.

Воздействие мощности ЭМ-поля на целевой объект можно представить в виде наведения на нём токов, генерирующих тепло, или в виде перехода энергии фотонов в энергию хаотического движения частиц. Из расчётов, показанных на рисунке 3, видно, что на расстоянии 4 м в пространстве появляется максимум электромагнитного поля с напряжённостью 600 В/м. Данные о напряжённости электрического поля, полученные в FEKO, позволяют рассчитать в программе CST температурное распределение как в уста-

новившемся (статическом) состоянии, так и в динамическом. Нарастание температуры в различных точках целевого объекта в зависимости от времени экспонирования изображено на рисунке 4.

Расчёты и эксперименты показали, что температура в целевом объекте на расстоянии 10 м от излучателя может увеличиваться до +500°C за 10 с экспонирования. В условиях разреженного пространства, которое имеет место в мощных СВЧ-приборах (электронных лампах, ЛБВ, ЛОВ, магнетронах), а также в условиях космоса, температура устройства повышается за счёт бомбардировки металлов частицами. Этот механизм превращения энергии

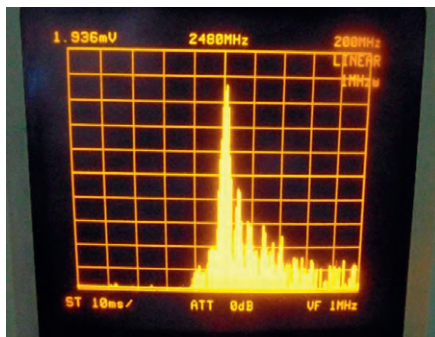


Рис. 5. Спектр на выходе синхронизированных магнетронов

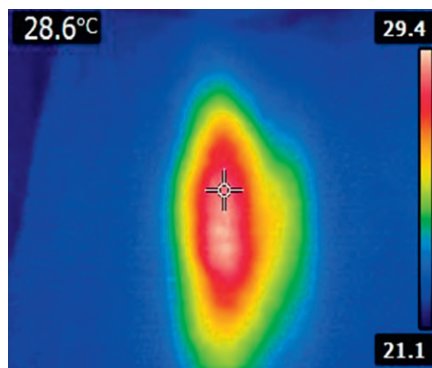


Рис. 6. Сечение диаграммы излучения



Рис. 7. Синхронизатор на четырёх магнетронах

частиц в тепловую рассчитывается в программе CST PARTICLE [4].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Работа магнетронов в составе одномерной антенной решетки 3/4 была осуществлена в безэховой камере. Плотность мощности измерена в области максимального поля. На рисунке 5 представлена визуализация спектра на выходе ФАР 3/4, на рисунке 6 – сечение ближнего поля, полученного с помощью тепловизора на расстоянии 1,5 м. Виден «ножевой» характер диаграммы излучения.

Кроме того, по результатам ранних работ по синхронизирующим излучающим устройствам [3] научным коллективом во главе с Р.Ф. Мюллером было изготовлено и испытано устройство сложения и синхронизации магнетронов 4/4, которое также может быть использовано для направленного

энергетического воздействия на объект (см. рис. 7).

При анализе взаимодействия ЭМ-излучения с полупроводниковыми приборами были рассмотрены силы, действующие на электрон в неоднородном высокочастотном электромагнитном поле. В определённых условиях для учёта воздействия на электрон можно рассматривать силы Гапонова-Миллера как градиент потенциала, зависящего от амплитуды ВЧ-поля вблизи поверхности полупроводника. В 70-е годы учёт действия этих сил в системах со знакопеременным магнитным полем позволил создать лазеры на свободных электронах – высокоэффективные устройства для генерации терагерцовых волн. «Несинхронные взаимодействия» этих полей имеют резонансный характер. Следует отметить, что действие данных сил может быть отнюдь не «малым» и в ряде слу-

чаев сопоставимым с действием «синхронных» сил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белобаба И.Н. Концентрация электромагнитного поля с помощью открытого зеркального резонатора: 05.12.07. Антенны и СВЧ-устройства: Диссертация кандидата технических наук. – М.: МЭИ, 2000. – 115 с.
2. Дейвид Е.Е. Фазирование высокочастотными сигналами. Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями. – М.: Иностранная литература, 1961.
3. Иванов И.М., Курушин А.А. Синхронизация магнетронов с выводом энергии в свободное пространство. Труды Международной научной конференции «Излучение и рассеяние электромагнитных волн ИРЭМВ – 2013». Дивноморск, 24–28 июня 2013 г.
4. Ефремова М.В., Иванов И.М., Курушин А.А. Моделирование СВЧ-приборов с помощью программы CST Particle Studio. – М.: СОЛОН-Пресс, 2018. – 362 с.



НОВОСТИ МИРА

В Госдуме в первом чтении рассмотрели законопроект с поправками к 44-ФЗ (о госзакупках)

В Госдуме в первом чтении рассмотрели законопроект с поправками к 44-ФЗ (о госзакупках) в части заключения специальных инвестиционных контрактов для организаций ОПК.

Комментарий первого заместителя председателя Комитета по экономической политике, промышленности, инновационному развитию и предпринимательству Владимира Гутенёва:

«Механизм локализации производства путём заключения СПИКов (специальных инвестиционных контрактов) зарекомендовал себя одним из ключевых для решения таких важных задач, как диверсификация в сфере ОПК. Экономический эффект виден уже сейчас: создаются новые рабочие места, увеличиваются налоговые поступления в бюджет

от новых инвесторов и, самое главное, создаётся новая продукция, не имеющая произведённых в Российской Федерации аналогов.

Логичный шаг по развитию этого механизма – принятие отдельных закупочных положений, которые устанавливают особенности осуществления закупки товара, производство которого создаётся или модернизируется и осваивается на территории РФ в соответствии со СПИКаами.

Предлагается для организаций, которые входят в сводный реестр оборонно-промышленного комплекса, снизить минимальный объём инвестиций до 750 млн руб., сейчас этот порог – 3 млрд руб.

Кроме того, ещё одна предусмотренная законопроектом преференция для предприятий ОПК – это отмена ограничений для объёма поставок продукции. Организации из реестра ОПК смогут поставить любое количество това-



ра, в то время как остальные организации будут продолжать поставлять не более 30% от количества продукции, которую произвели за год.

Также заказчик будет заключать контракт с предприятием ОПК как с единственным поставщиком.

Предлагаемые поправки дадут возможность активнее использовать механизм СПИКов при реализации проектов по диверсификации и будут способствовать реализации задач по диверсификации производств ОПК».

Пресс-релиз Союза машиностроителей России

ChipEXPO-2019

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

17-я
МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА
ЭЛЕКТРОНИКИ

РОССИЯ | МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России «Участники Государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы»
- Экспозиция участников конкурса на присуждение премии «Золотой Чип»
- Экспозиция «Испытания и контроль качества ЭКБ»
- Экспозиция «Новинки производителей электронных компонентов»
- Экспозиция «China electronics»
- Экспозиция предприятий Зеленограда (Корпорация развития Зеленограда)
- Экспозиция предприятий АО «Росэлектроника»

www.chipexpo.ru

16.10-
18.10

ЗА ДОСТИЖЕНИЯ

Реклама



Моделирование целостности сигналов и наводок в цепях многоплатных электронных систем

Часть 1

Татьяна Колесникова (beluikluk@gmail.com)

В статье рассматривается создание многоплатной системы и исследование её работы при помощи инструмента посттопологического моделирования печатных плат HyperLynx BoardSim, позволяющего сформировать многоплатную систему и выполнить полное её тестирование на наличие проблем целостности сигналов с учётом реальной трассировки и взаимного расположения компонентов.

ВВЕДЕНИЕ

Многоплатные системы предполагают использование нескольких плат расширения в одном устройстве и обмен информацией между ними. В качестве объединительной для организации соединения используют общую плату, в разъёмы расширения которой устанавливаются дочерние платы. Материнская плата монтируется в корпусе на специальных пластмассовых стойках и крепится винтами. Разъёмы расширения, в которые вставляются дочерние платы, связаны друг с другом рядом параллельных проводников, по которым осуществляется передача данных, адресов и управляющих сигналов. При этом распределённая ёмкость и индуктивность печатных проводников, несогласованность длинных линий, воздействия шумов

и многие другие эффекты приводят к тому, что форма сигнала может быть изменена до такой степени, что передаваемая информация будет принята с ошибками.

Многие из основных проблем, которые могут вызвать нарушения целостности сигнала, можно обнаружить и исправить, используя программу HyperLynx (при написании материала использовалась версия 9.4.1) [1]. Анализ целостности сигналов в HyperLynx выполняют на этапе схемы (предтопологический анализ) и на этапе платы (посттопологический анализ). Задачей посттопологического анализа является максимально полное исследование системы на наличие проблем целостности сигналов с учётом реальной трассировки, геометрических размеров и положений компонентов, их взаимного расположения. Исходными

данными для такого анализа являются готовая топология и рассчитанные ранее параметры линий передачи.

Модуль BoardSim программы HyperLynx предназначен для посттопологического анализа целостности сигналов и работает с законченной топологической информацией. В него может быть загружен проект платы, разработанный практически в любом современном пакете проектирования, поскольку большинство популярных продуктов для создания печатных плат (ПП) имеют трансляторы в формат HyperLynx. Это касается и проектов, в которых предполагается использование нескольких плат расширения.

В BoardSim исследование работы систем, состоящих из нескольких плат, выполняют в режиме *MultiBoard*, где все платы размещаются одновременно в одном окне проекта (см. рис. 1). При этом анализ спектра электромагнитной совместимости (ЭМС) производится только с использованием токового зонда (Current Probe), поскольку файл проекта *MultiBoard* не определяет, как физически ориентированы платы по отношению друг к другу: параллельно или перпендикулярно (в этом случае расчёт полей выполнить невозможно). Мастер согласования *Terminator Wizard* недоступен для использования в режиме *MultiBoard*.

Инструменты проверки и редактирования стеков слоёв плат многоплатной системы в *MultiBoard* предоставляет *Stackup Manager* (см. рис. 2). В таблице в его левой части отображено имя выбранной в списке *Board* платы многоплатной системы, в правой части – 2D- или 3D-модель её стека слоёв. *Stackup Manager* служит интерфейсом для запуска редактора *Stackup Editor*, который в режиме *MultiBoard* вызывает для каждой отдельной платы и используют для добавления и удаления слоёв, изменения порядка сигнальных слоёв, назначения слоям цвета, толщины и других свойств, изменения свойств диэлектрика и проводимости металла.

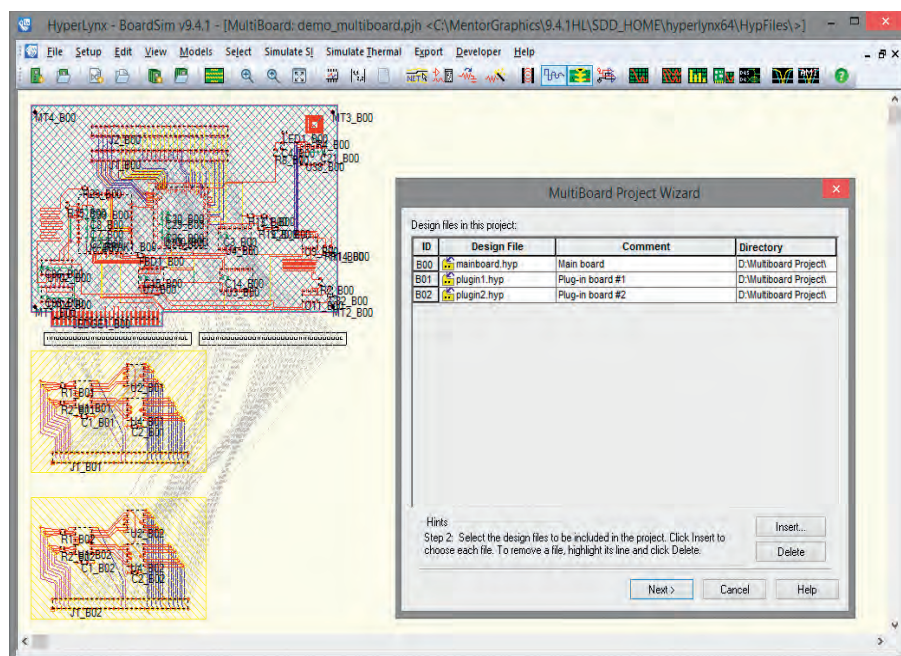


Рис. 1. Проект *MultiBoard* и окно *MultiBoard Project Wizard*

Перед созданием проекта *MultiBoard* необходимо каждый проект платы из топологического редактора транслировать в формат HyperLynx. Затем разработчик определяет конфигурацию проекта, в которой задаёт участвующие платы, разъёмы, соединяющие эти платы, и их характеристики. Для дальнейшего анализа выбирается цепь (независимо от того, находится ли она на одной плате или проходит через все платы) и производится моделирование – так, как если бы проектировщик работал с одной платой (см. рис. 3).

Создание многоплатной системы

Подготовка данных о топологии печатных плат, формирующих многоплатную систему

Может случиться так, что разрабатываемое устройство предполагает использование нескольких плат расширения и обмен информацией между ними. Средства современных редакторов проектирования топологии печатных плат (PADS Layout, Xpedition Layout, Altium Designer) позволяют передать в программу HyperLynx для проведения дальнейшего анализа данные об электрических параметрах компонентов и топологии ПП, входящих в многоплатную систему. К этому моменту проектирование всех плат в топологическом редакторе должно быть полностью завершено. Каждый проект ПП, являющейся конструктивной частью многоплатной системы, должен быть сохранён в формате *.hup*.

Таким образом, до создания проекта многоплатной системы в HyperLynx на диске компьютера уже должны иметься подготовленные файлы в формате *.hup* для всех плат проекта: как материнской, так и дочерних.

Создание многоплатной системы при помощи мастера *MultiBoard Project Wizard*

Для создания многоплатной системы в HyperLynx необходимо добавить в *MultiBoard* платы, формирующие проект. Сделать это можно при помощи мастера *MultiBoard Project Wizard*. Рассмотрим данный процесс более подробно, для чего в основном меню программы HyperLynx или в HyperLynx BoardSim выберем пункт *File/New MultiBoard Project* – в результате будет открыто первое окно масте-

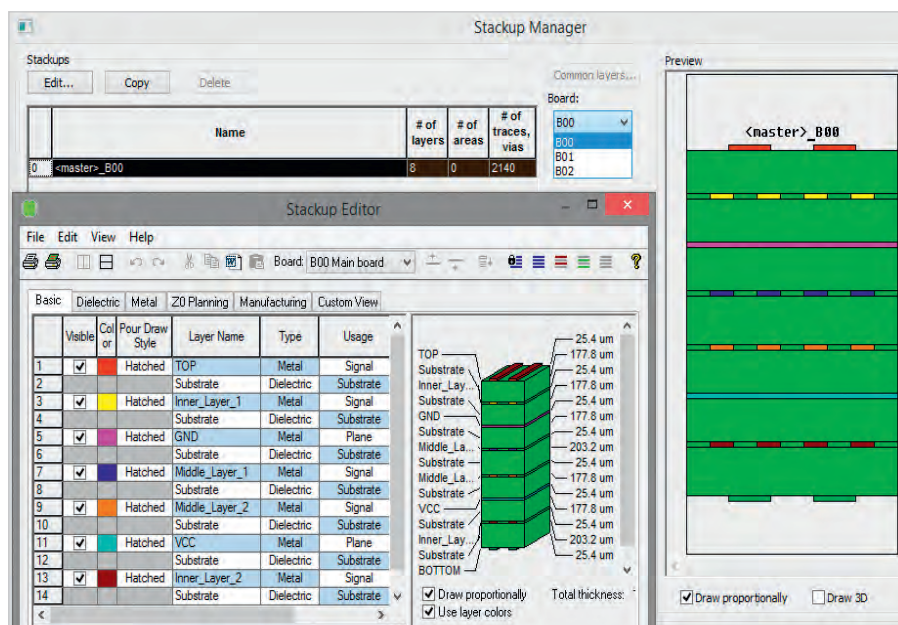


Рис. 2. Инструменты менеджера стека слоёв плат

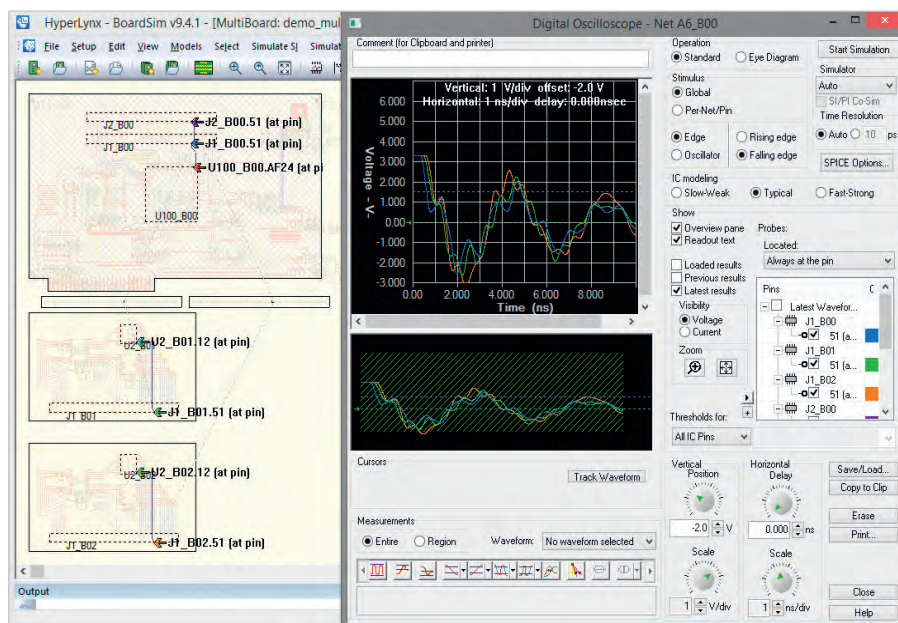
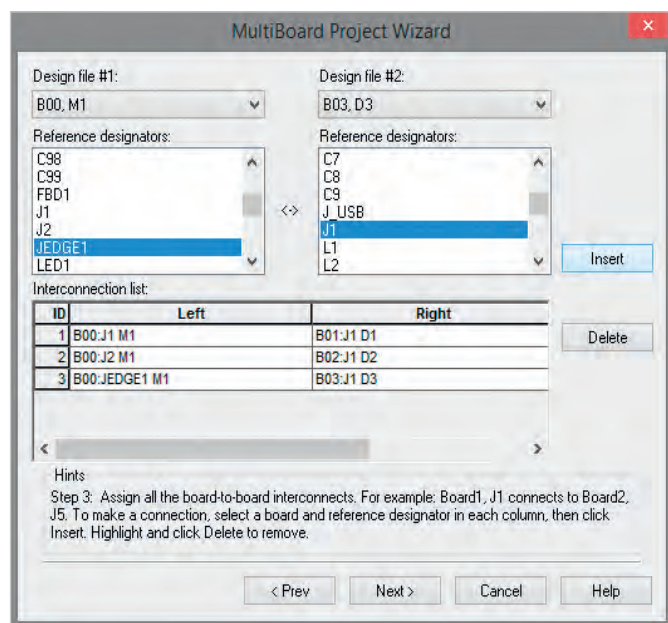


Рис. 3. Анализ целостности сигналов с помощью цифрового осциллографа в проекте *MultiBoard*

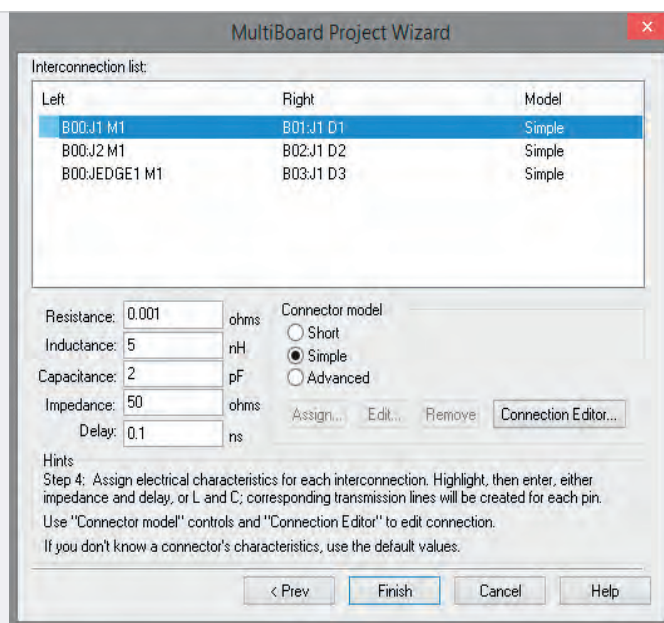
ра создания многоплатной системы. В данном окне необходимо в поле *Project file name* ввести название проекта многоплатной системы, при помощи кнопки *Browse* задать месторасположение этого проекта (файл проекта многоплатной системы будет иметь расширение *.pjh*), после чего нажать кнопку *Next >*.

Отметим, что проект *MultiBoard* рекомендуется размещать в отдельной директории. На следующем этапе выполняется добавление *.hup*-файлов плат, формирующих проект. Заметим, что один и тот же файл *.hup* можно добавить несколько раз в том случае, если формирующие проект платы имеют идентичную топологию. При-

мером тому может служить конструкция устройства, в котором несколько одинаковых модулей монтируются на одной объединительной (материнской) панели. После нажатия кнопки *Insert* будет открыто окно проводника Windows, при помощи которого можно перейти в директорию размещения файлов плат. Для каждого добавленного *.hup*-файла можно ввести директорию его размещения (поле *Directory*) и комментарий (поле *Comment*). Когда файл многоплатного проекта *.pjh* и файлы плат *.hup* размещены в одной директории, путь к *.hup*-файлам в окне мастера можно указать относительно (.). Комментарий вводят, чтобы отличать



a



б

Рис. 4. Мастер создания многоплатной системы **MultiBoard Project Wizard**: а) определение соединений (виртуальных разъёмов); б) определение свойств виртуальных соединений

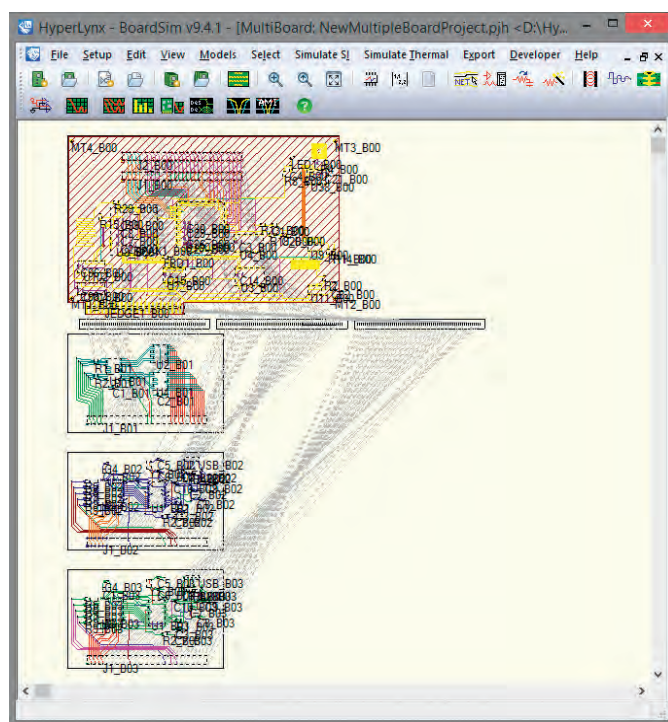


Рис. 5. Проект **MultiBoard**

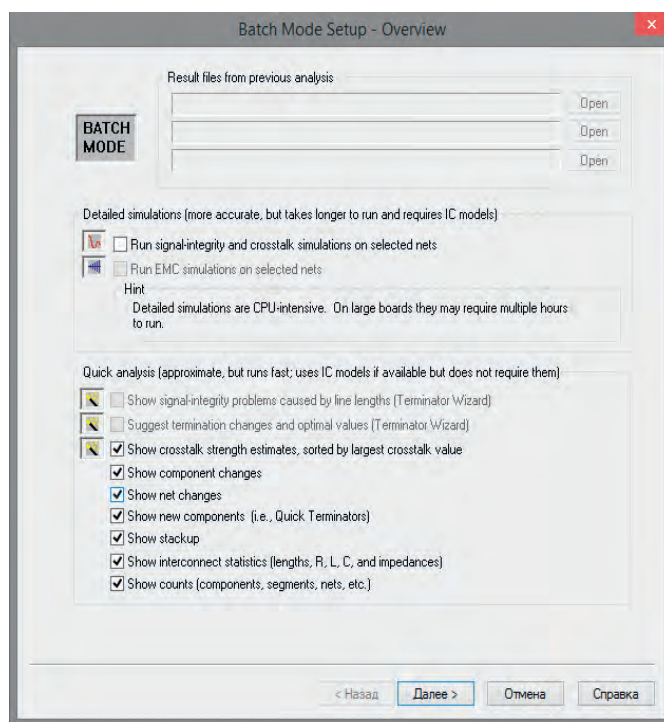


Рис. 6. Окно **Batch Mode Setup – Overview**

идентичные платы, если один и тот же файл *.bur* используется в проекте несколько раз. Для удаления ошибочно добавленного файла платы в проект необходимо в окне мастера выделить при помощи левой кнопки мыши строку с названием файла и нажать кнопку *Delete*.

После того как все необходимые файлы плат добавлены в проект, следует нажать кнопку *Next >* для перехода к третьему шагу работы мастера

(см. рис. 4а), на котором выполняют определение соединений (виртуальных разъёмов) плат. При этом в качестве точек соединения можно использовать любые компоненты платы. Рассмотрим данное окно мастера более подробно. Оно разделено на две части. В полях *Design file #1* и *Design file #2* из выпадающего списка выбираются названия плат, между которыми требуется выполнить соединение. В полях *Reference designators* отображены

позиционные обозначения компонентов выбранных плат, которые могут быть использованы в качестве соединителей. Чтобы настроить соединение между двумя платами проекта, необходимо выбрать в этих полях нужные значения и нажать кнопку *Insert*, в результате чего пара плат появится в списке соединений *Interconnection list*. Для удаления ошибочно добавленных значений в *Interconnection list* необходимо в этом списке выделить

левой кнопкой мыши нужную строку и нажать кнопку *Delete*. Можно также выполнить соединение определённых выводов разъёмов между собой. После того как все пары соединений назначены, необходимо при помощи кнопки *Next >* перейти к четвёртому шагу работы мастера.

На четвёртом, заключительном этапе создания многоплатной системы (см. рис. 4б) выполняется определение свойств виртуальных соединений. Для каждого соединения можно назначить свой набор свойств. Для этого левой кнопкой мыши выбирают пару плат в поле *Interconnection list* и задают параметры её соединения в следующих полях:

- *Resistance* (сопротивление);
- *Inductance* (индуктивность);
- *Capacitance* (ёмкость);
- *Impedance* (импеданс);
- *Delay* (задержка);
- *Connector model* (модель соединения): *Short* (короткая), *Simple* (простая), *Advanced* (расширенная).

Если разработчику неизвестны характеристики соединения, можно использовать их значения по умолчанию. Для редактирования соединения используют кнопку *Connection Editor* поля *Connector model*.

Когда все нужные действия выполнены, для окончания работы с мастером создания многоплатной системы нажимают на кнопку *Finish*. В нашем примере результат работы мастера – проект MultiBoard, в который назначены четыре платы (материнская и три дочерние) (см. рис. 5).

Редактирование уже созданного проекта многоплатной системы в MultiBoard осуществляется командой основного меню *Edit/MultiBoard Project*, которая открывает окно мастера *MultiBoard Project Wizard*, где изменяют нужные настройки проекта.

ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА МНОГОПЛАТНОЙ СИСТЕМЫ

Анализ многоплатной системы в пакетном режиме *Batch Mode*

Batch Mode Wizard в MultiBoard используют для обнаружения цепей, имеющих риски наличия проблем целостности сигналов, а также для получения общей информации о всех цепях проекта многоплатной системы в виде текстового отчёта. Запуск анализа производится командой основного меню *Simulate SI/Run Generic Batch Simulation* или посред-

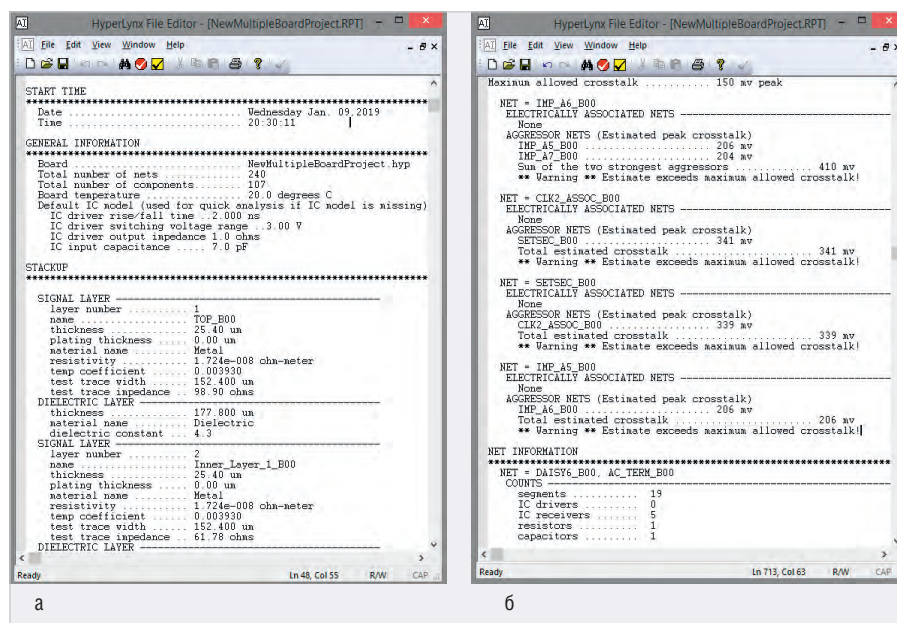


Рис. 7. Фрагмент текстового файла отчёта: а) общая информация о многоплатном проекте и стеке слоёв входящих в него печатных плат; б) отчёт о помехах и данные о выбранных для анализа цепях

ством нажатия на одноимённую пиктограмму верхней панели инструментов, в результате чего будет открыто окно *Batch Mode Setup – Overview* (см. рис. 6).

В верхней части окна *Batch Mode Setup – Overview* находится поле *Result files from previous analysis*, в котором при помощи кнопки *Open* можно открыть для просмотра файлы отчёта предыдущих анализов проекта многоплатной системы.

Также в этом окне расположены ещё два поля:

- *Detailed simulations* – набор опций для детального моделирования;
- *Quick analysis* – набор опций для быстрого анализа.

Quick analysis производит проверку каждой цепи во всех подсхемах многоплатной системы. Его можно использовать для быстрого сканирования всего проекта на наличие цепей с рисками. При выполнении *Quick analysis* не производится детальное моделирование, а для прогнозирования рисков целостности сигналов и наводок используются алгоритмы экспертной системы.

В поле *Quick analysis* доступны для выбора следующие опции:

- *Show crosstalk strength estimates, sorted by largest crosstalk value* – определить интенсивность наводки для выявления цепей-агрессоров;
- *Show component changes* – показать изменения компонентов;
- *Show net changes* – показать изменения цепей;

- *Show new component (i.e., Quick Terminators)* – показать новые компоненты;
- *Show stackup* – показать информацию о стеке слоёв печатных плат многоплатной системы;
- *Show interconnect statistics (lengths, R, L, C and impedances)* – включить в отчёт информацию о каждой цепи: минимальный и максимальный импеданс трассы, общую длину трассы, общую ёмкость трассы, общую индуктивность трассы, общее сопротивление трассы, средний импеданс трассы, общую задержку трассы;
- *Show counts (components, segments, nets, etc.)* – определение числа сегментов, приёмников и передатчиков, компонентов для каждой цепи проекта многоплатной системы.

Каждая выбранная опция добавляет дополнительную информацию в файл отчёта. Пункты *Show signal-integrity problems caused by line lengths* (определение цепей, длина которых больше критической) и *Suggest termination changes and optimal values* (расчёт оптимальных значений согласования) недоступны для выбора при анализе многоплатной системы. В процессе настройки параметров есть возможность задать анализ отдельных или всех цепей проекта.

После нажатия кнопки «Далее >» будет запущен мастер *Batch Mode Setup*, который предполагает поочередное открытие нескольких диалоговых окон, где разработчик определяет настройки анализа. Переход между окнами выпол-

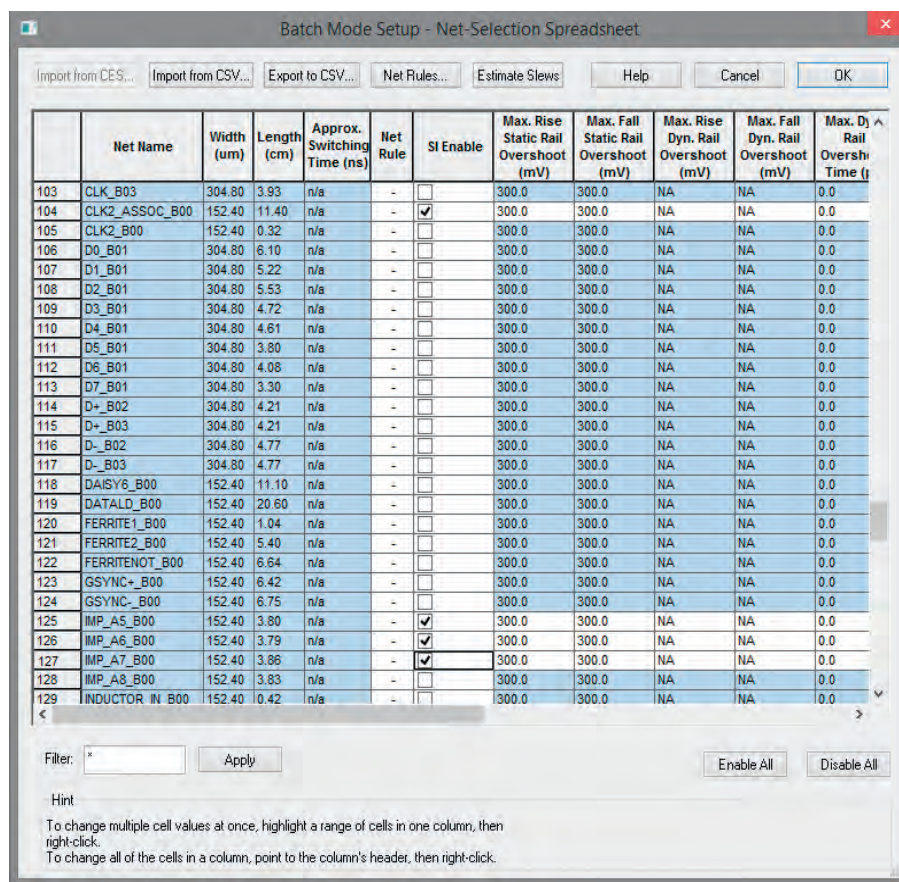


Рис. 8. Выбор цепей в поле *SI Enable* окна *Batch Mode Setup – Net-Selection Spreadsheet*

няется с помощью кнопок «*Назад*» и «*Далее*». Когда все параметры заданы, нажимают кнопку «*Готово*» для запуска анализа. Результаты будут представлены в виде текстового файла отчёта, который откроется для просмотра автоматически (см. рис. 7).

В файле выводится общая информация о многоплатном проекте: общее количество цепей (*Total number of nets*), общее число компонентов (*Total number of components*), температура платы (*Board temperature*), характеристики интегральных схем (*Default IC model*) и информация о стеке слоёв печатных плат многоплатной системы (*STACKUP*), отчёт о помехах (*CROSSTALK REPORT*), данные о выбранных для анализа цепях (*NET INFORMATION*): число сегментов, приёмников и передатчиков, резисторов и конденсаторов для каждой цепи.

Как видно из рисунка 76, в разделе *CROSSTALK REPORT* полученного отчёта указано, что цепь IMP_A6_B00 подвержена влиянию двух цепей-агрессоров: IMP_A5_B00 и IMP_A7_B00, значения пиковых выбросов перекрёстных помех которых равны 206 и 204 мВ соответственно, что превышает максимально допустимое значение (105 мВ), указанное в поле *Maximum*

allowed crosstalk, и может влиять на целостность передаваемого сигнала. О выявленном нарушении получено предупреждающее сообщение: **** Warning ** Estimate exceeds maximum allowed crosstalk!** (превышено максимально допустимое значение электрического порога).

После обнаружения в *Quick analysis* цепей с высоким риском можно переходить к их детальному моделированию. Посредством установки флажка *Run signal-integrity and crosstalk simulations on selected nets* в поле *Detailed simulations* окна *Batch Mode Setup – Overview* задают выполнение моделирования целостности сигналов. Моделирование ЭМС (флажок *Run EMC simulations on selected nets*) в проекте многоплатной системы недоступно.

Детальное моделирование занимает больше времени, чем быстрый анализ. Так же, как и в *Quick analysis*, в *Detailed simulations* есть возможность выбора цепей для моделирования, для чего предусмотрена специальная таблица. Выборочное моделирование цепей сокращает время анализа.

Результаты *Quick analysis* показали, что цепи IMP_A5_B00, IMP_A7_B00, SETSEC B00, CLK2 ASSOC B00, IMP A6 B00

являются агрессорами, что может негативно сказаться на целостности сигналов жертв, характеристики которых ухудшаются под воздействием их электромагнитного излучения и выбросов.

Выполним детальное моделирование целостности сигналов и перекрёстных помех этих цепей, для чего снова откроем окно *Batch Mode Setup – Overview* и в поле *Detailed simulations* установим флажок *Run signal-integrity and crosstalk simulations on selected nets* (все остальные флажки в этом случае должны быть сняты) и нажмём кнопку «Далее >» – в результате будет открыт ряд диалоговых окон, где разработчик определяет настройки анализа. Выбор цепей для анализа выполняют установкой/снятием флажков в поле *SI Enable* окна *Batch Mode Setup – Net-Selection Spreadsheet* (см. рис. 8), которое открывают кнопкой *SI Nets Spreadsheet* из окна мастера *Batch Mode Setup – Select Nets and Constraints for Signal-Integrity Simulation*.

Когда все параметры заданы, нажимают кнопку «Готово» для запуска анализа. В результате его завершения будет получен файл отчёта в формате *.rpt*.

При обнаружении нарушений в файле выводятся предупреждающие сообщения. Также файл отчёта содержит информацию о дате запуска анализа и общем времени, которое занял процесс его выполнения, а также общие сведения о проекте многоплатной системы: общее количество цепей, общее число компонентов, температура платы, характеристики интегральных схем.

На основе полученных результатов быстрого анализа и детального моделирования разработчик должен принять решение о внесении изменений в проект многоплатной системы, после чего повторно запустить анализ, чтобы удостовериться, что выполненные изменения результативны, а произведённые действия не привели к появлению нарушений в цепях, которые ранее не имели проблем.

Во второй части статьи будет описано выполнение анализа целостности сигналов при помощи цифрового осциллографа Digital Oscilloscope, а также пойдёт речь об анализе спектра ЭМС.

ЛИТЕРАТУРА

1. HyperLynx SI/PI User Guide. Mentor Graphics Corporation. 2016. 

НОВОСТИ МИРА

PHBT-2019: цифровизация ставит новые задачи

«Цифровая трансформация телеком отрасли: стратегия 2024» — под таким названием состоялась конференция в рамках прошедшей в ЦВК «Экспоцентр» «Российской недели высоких технологий-2019».

В конференции, организованной медиахолдингом РБК, приняли участие представители власти, бизнеса, отраслевые эксперты. Они обсудили успешные стратегии диверсификации телекоммуникационного бизнеса, импортозамещение на рынке телеком-оборудования, создание телекоммуникационной инфраструктуры, развитие сетей пятого поколения и многие другие важные вопросы, имеющие практическое значение для участников телеком-рынка.

Руководитель отдела телекоммуникаций РБК Анна Балашова, в частности, отметила, что значительная доля телекоммуникационного оборудования импортируется. Основная причина — неравные экономические условия отечественных производителей в сравнении с основными зарубежными конкурентами. Государство разрабатывает меры поддержки российских отраслевых компаний в виде увеличения пошлин на ввоз

импортного оборудования, а также льгот на налоги и страховые взносы.

В ходе дискуссии говорилось о том, что традиционный бизнес телекоммуникационных компаний постепенно уходит в прошлое, ставя перед ними новые задачи и открывая возможности для роста. Будущее отрасли напрямую связано с такими понятиями, как Интернет вещей, облачные сервисы, переход на 5G, технологии Big Data, мобильные финансы, развитие конвергентных услуг связи, способы монетизации контента и др.

Широкий отклик в профессиональной аудитории нашло обсуждение технологий «умного города» и новых возможностей, которые их внедрение открывает для телекоммуникационного бизнеса. На сессии, посвящённой этой теме, которую провёл главный редактор «РБК Недвижимость» Игнат Бушухин, отмечалось, что российские города сегодня активно меняются. Умные технологии проникают в жизнь не только мегаполисов, но и небольших городских образований. По мнению модератора, «в городе интересы недвижимости и классического телекома находят синергию».

О межведомственном проекте «Умный город» подробно рассказала представитель

Минстроя РФ Елена Семёнова. Она, в частности, отметила, что цель проекта — сделать наши города более комфортными и безопасными для жителей. Проект предусматривает проведение комплексных мероприятий в городах с населением свыше 100 тыс. человек по таким направлениям, как городское управление, реновация городской среды, общественная безопасность, транспорт, экология, ЖКХ и ряд других. Концепция «Умного города» ориентируется на технологичность городской инфраструктуры, повышение качества управления городскими ресурсами, экономическую эффективность, в том числе сервисной составляющей городской среды.

На других сессиях конференции, посвящённых телекоммуникационным стартапам и новым рынкам, эксперты констатировали, что стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий кардинально меняет все отрасли. Оцифровка данных делает процессы более быстрыми, упорядоченными. Традиционные модели ведения бизнеса уступают место новым. Диверсификация бизнеса и выход на новые рынки станут ключом к успеху в будущем.

<https://www.sviaz-expo.ru/>

swissbit®
INDUSTRIAL MEMORY SOLUTIONS



Серия S-40: карты памяти SD и MicroSD для эффективных промышленных применений

- 4–32 Гбайт (MLC NAND Flash)
- SD 3.0 (2.0), SDHC, Class 6
- Передача данных до 24 Мбайт/с
- Автономная система управления данными
- Защита от пропадания напряжения
- Долгое время хранения данных при экстремальных температурах
- Резервирование встроенного программного обеспечения
- Сложный механизм распределения нагрузки и управления сбойными блоками
- Обновление параметров и встроенного программного обеспечения
- Контроль изменений в комплектации
- Инструменты для диагностики

Надежные, прочные, экономичные

ProSoft®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Решения Mentor Graphics в области проектирования SoC

Цифровые системы

Андрей Лохов (Lokhov@megratesc.ru),
Иван Селиванов (selivanov@megratesc.ru)

В статье рассмотрен сквозной маршрут проектирования систем-на-кристалле от компании Mentor Graphics. Основное внимание уделено цифровым системам. Описаны решения, предлагаемые компанией для системного, функционального, физического уровней проектирования и верификации, а также для физической верификации топологии и подготовки фотошаблона.

Бурное развитие микроэлектронных технологий привело к появлению систем-на-кристалле (SoC – System-on-a-Chip) с впечатляющими характеристиками. Так, графический чип Volta GV100 компании Nvidia содержит порядка 21,1 млрд транзисторов, более 5000 потоковых процессоров, 672 блока матричных вычислений, несколько уровней кэш-памяти, графическую память, более 100 контроллеров памяти и управления системным интерфейсом [1]. Volta GV100 производится по технологическим нормам 12 нм. Возможности современной

фотолитографии давно перешагнули длину волны традиционного излучения (193 нм). За счёт специальных технологий (иммерсионная литография, FinFET-транзисторы, специальные методы повышения разрешающей способности и т.п.) удалось выйти на глубоко субмикронные нормы. Так, в компании TSMC сертифицирован технологический процесс с нормами 7 нм, ведутся работы над 5-нм процессом.

Совершенно очевидно, что такое развитие технологий предъявляет повышенные требования к средствам проектирования и верификации SoC. На

сегодняшний день лишь несколько компаний предлагают исчерпывающий комплексный инструментарий для решения данной задачи. Одной из них является компания Mentor Graphics (сейчас входит в состав Siemens PLM Software), которая предлагает интегрированное решение по разработке SoC от системного уровня до верификации топологии кристалла, подготовки фотошаблона и постпроизводственного тестирования. Основные этапы маршрута проектирования Mentor Graphics представлены на рисунке 1.

Рассмотрим отдельные этапы маршрута проектирования более подробно.

СИСТЕМНЫЙ УРОВЕНЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ

Одной из проблем, возникающих при проектировании и верификации сложных SoC, является необходимость так называемого «сдвига влево», присущего в последнее время практически всем маршрутам проектирования [2]. Это означает, что все основные архитектурные решения должны быть отработаны и верифицированы на как можно более раннем этапе проектирования. Даже если разрабатываемая SoC в основном состоит из уже готовых и верифицированных функциональных блоков, возникает проблема верификации шинных протоколов, согласования временных характеристик, разрешения конфликтов при обращении к памяти и т.п. Преимущества такого подхода очевидны. Во-первых, анализ и верификация принятых решений на системном уровне осуществляются гораздо быстрее, поскольку моделирование выполняется на языках высокого уровня, как правило SystemC и C++. Во-вторых, такой подход позволяет исключить дорогостоящие итерации проекта, когда ошибка или неоптимальный выбор алгоритма приводят к гораздо большим затратам. Также стоит отметить, что оптимальный выбор решений на системном уровне позволяет получить гораздо более существен-

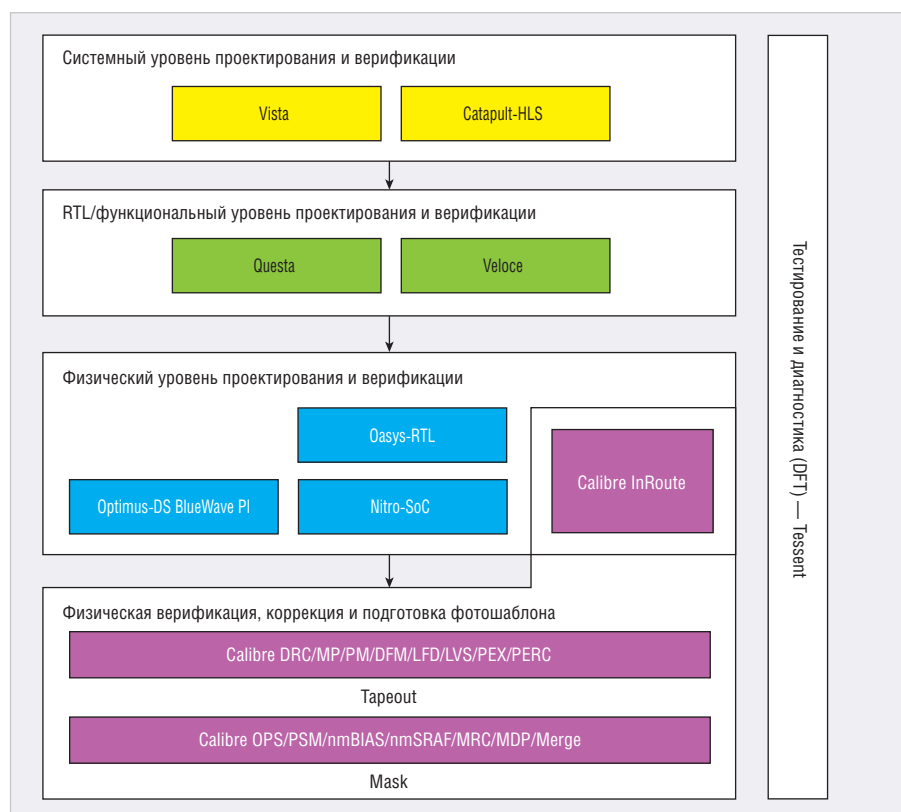


Рис. 1. Маршрут проектирования и верификации цифровых SoC

ную экономию потребляемой мощности, чем если бы это было сделано на RTL или вентилярном уровне.

Ядром маршрута проектирования и верификации на системном уровне является платформа Vista. Как показано на рисунке 2, она включает следующие компоненты:

- библиотека моделей TLM (Transaction Level Models) [3] основных процессорных ядер и функциональных блоков – встроенный механизм генерации моделей позволяет дополнять библиотеку моделями пользователя;
- виртуальное прототипирование [4] – используя TLM-модели основных процессорных ядер и других функциональных блоков, разработчик получает возможность параллельной отладки оборудования (hardware) и программного кода, исполняемого на моделях процессоров; трассировка и отладка программного кода выполняются с помощью приложения Sourcery CodeBench;
- анализ архитектуры SoC на системном уровне – позволяет получить максимально возможную производительность системы при минимальных затратах мощности;
- гибридное моделирование – в данном случае обеспечивается возможность параллельного моделирования SoC на системном уровне и более точного моделирования одного или нескольких блоков на RTL-уровне; такой подход сочетает ускорение общего процесса моделирования с более точным RTL-моделированием выбранных блоков.

В целом Vista позволяет пользователю узнать:

- обеспечивает ли выбранная архитектура SoC эффективное выполнение всех функций, заложенных в спецификации заказчика;
- удовлетворяет ли SoC требованиям по быстродействию/производительности и потребляемой мощности;
- возможна ли успешная реализация SoC на выбранном технологическом базисе;
- обеспечивает ли система корректное и эффективное исполнение встроенного программного кода.

Однако отладка и оптимизация архитектуры SoC на системном уровне не решают задачу быстрого получения и верификации RTL-кода [5]. При решении этой задачи возникает множество проблем, например сложность вычислительных алгоритмов, особен-

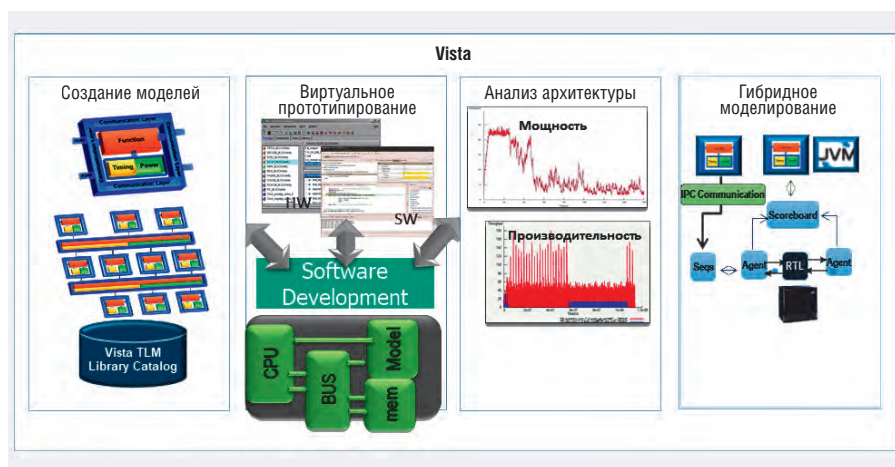


Рис. 2. Структура и функции платформы Vista

но в таких областях, как компьютерное зрение, нейровычисления, широкополосная передача данных в мобильных системах, обработка и компрессия изображений, возрастает настолько, что ручное кодирование RTL приводит к недопустимому опозданию выхода изделия на рынок. Кроме того, как уже отмечалось ранее, исчерпывающая верификация на RTL-уровне по сравнению с системным уровнем требует исключительных затрат на оборудо-

вание (серверные кластеры), энергопотребление, лицензии ПО, а также трудозатрат инженеров по верификации. Кроме того, существует проблема переноса верифицированных функциональных RTL-блоков на новую технологию. Приложение Catapult HLS, поставляемое Mentor Graphics, позволяет если не полностью устранить указанные проблемы, то в максимально возможной степени облегчить их решение. Основной задачей Catapult HLS являет-

Полное интегрированное решение для проектирования СБИС и систем на кристалле с использованием технологически лидирующих решений в индустрии

- Системное, функциональное и физическое проектирование и верификация
- Проектирование цифровых СБИС
- Проектирование заказных аналоговых и смешанных ИС, включая MEMS и фотонику
- Верификация топологии и схемы проекта, повышение технологичности (DRC/LVS/DFM)
- Повышение разрешающей способности в суб-нанометровом диапазоне (RET)
- Подготовка фотошаблона
- Тестирование и диагностика (DFT)

Mentor
A Siemens Business

АО "Мегратек" -
официальный дистрибьютор
Mentor Graphics в России и СНГ
тел: (495) 787-59-40
E-mail: lokhov@megratек.ru
www. megratec.ru

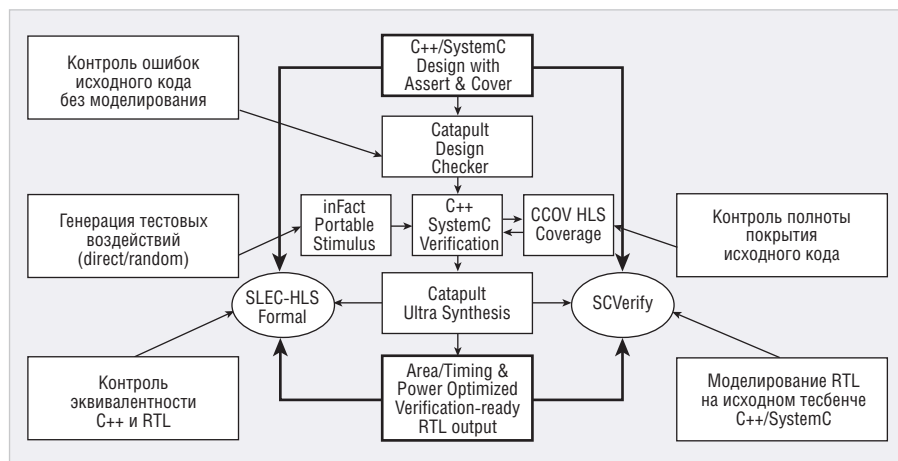


Рис. 3. Принципы работы Catapult-HLS

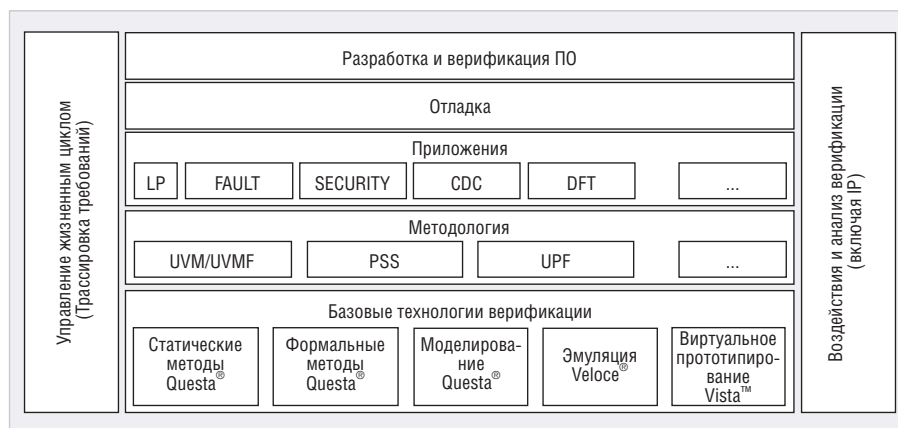


Рис. 4. Структура платформы функциональной верификации Mentor Graphics

ся синтез RTL-кода из исходного C++/SystemC-кода.

Принципы работы Catapult HLS представлены на рисунке 3.

Приложение решает следующие основные задачи:

- анализ исходного C++/SystemC-кода на предмет обнаружения ошибок и возможных неопределённостей и внесение рекомендаций по их устранению (например, некоторые конструкции кода C++ могут привести к неоднозначности или избыточности при синтезе RTL-кода);
- анализ полноты функционального покрытия при верификации исходного C++/SystemC-кода для обеспечения синтеза RTL-кода с исчерпывающим функциональным покрытием;
- синтез исходного C++/SystemC-кода в VHDL или Verilog-код, полностью подготовленный к дальнейшим операциям функциональной верификации логического синтеза; включение опции PowerPro обеспечивает оптимизацию потребляемой мощности непосредственно в процессе синтеза RTL-кода;

- контроль логической эквивалентности исходного C++/SystemC-кода и синтезируемого RTL-кода (приложение SLEC-HLS Formal);
- генерирование тестбенча для верификации синтезируемого RTL-кода (маршрут SCVerify) на основе исходного тестбенча для C++/SystemC-кода.

RTL/функциональный уровень проектирования и верификации

Несмотря на то что Vista и Catapult HLS обеспечивают на выходе в значительной степени верифицированный RTL-код, прежде чем приступить к физической реализации кристалла SoC, необходимо провести финальную верификацию на функциональном уровне его отдельных блоков, а иногда и всей системы в целом. Например, это происходит в результате «асемблирования» блоков из собственной пользовательской библиотеки или приобретённых у третьих фирм. Функциональная верификация на RTL-уровне является наиболее затратной с точки зрения требуемых ресурсов оборудования, наличия лицензий и объёмов

инженерного труда. Довольно долгое время под функциональной верификацией понимали простое моделирование объектов, описанных на VHDL или Verilog-коде, поэтому основной задачей было максимальное ускорение моделирования за счёт применения более усовершенствованных алгоритмов, более мощных процессорных ядер, распараллеливания моделирования на многоядерных и многопроцессорных системах. В последнее время появились так называемые усовершенствованные методы верификации [6], например формальная верификация на основе assertions, управление полнотой функционального покрытия, автоматическая генерация тестбенчей произвольных (random) тестов с ограничениями и многое другое. Именно такой подход реализован в платформе Questa компании Mentor Graphics, которая является ядром функциональной верификации SoC на RTL-уровне.

На рисунке 4 представлены основные задачи, которые решаются с помощью платформы функциональной верификации Mentor Graphics.

Ядром Questa является система программного моделирования цифровых проектов, которая поддерживает все основные языки (описание проекта и assertions) и методологии верификации: Verilog, SystemVerilog-2015, VHDL-2008, SystemC-2.3, UPF-3.0, C++, SV-TB, SVA, UVM, UCIS, PSS и другие. Симулятор обладает высокой производительностью и допустимой ёмкостью проектов. Опция Multi-Core позволяет повысить скорость моделирования за счёт распараллеливания задачи на многоядерных системах. Мощные встроенные отладочные возможности и функция просмотра трасс (опция Questa Visualizer) обеспечивают ускорение сходимости верификации, поскольку, как известно, отладка занимает львиную долю времени в этом процессе. Опция Questa InFact позволяет автоматически генерировать тестовые воздействия в соответствии с заданными алгоритмами, причём эти воздействия легко портируются на системный уровень верификации (Vista), в систему аппаратной эмуляции и в систему прототипирования на FPGA. Дополнительным фактором повышения эффективности и сходимости является встроенная библиотека IP-блоков для верификации (Questa Verification IP), которая даёт возможность пользователю сосредоточить

ся на блоках собственной разработки, заменяя стандартные протоколы и модули памяти встроенными моделями, отработанными на десятках проектов. Дополнительно при моделировании пользователь может учитывать и обрабатывать различные варианты распределения потребляемой мощности, выбирая в конечном счёте оптимальный вариант.

Помимо традиционного моделирования, Questa включает специальные приложения для статической и динамической формальной верификации (Questa Formal) и верификации систем с множественными доменами синхронизации (Questa CDC). Общее управление процессом верификации и сбором статистики по полноте функционального покрытия реализуется опцией Questa Verification Management.

В ряде случаев, например когда необходимо выполнить функциональную верификацию очень большой SoC при ограниченном времени, Mentor Graphics предлагает использовать систему аппаратной эмуляции Veloce [7]. В основании системы лежат специально разработанные «программируемые ASIC» (Crystal SoC). С помощью специального программного обеспечения, используя запатентованную технологию Virtual Wires, верифицируемый RTL-код «компилируется» непосредственно в схему эмулятора, что позволяет ускорить процесс верификации по сравнению с программным моделированием на несколько порядков. Последняя версия системы – Veloce StratoM – поддерживает проекты объёмом до 15 млрд вентиляей. Средняя рабочая частота составляет до 2 МГц. Система обладает мощными отладочными средствами, например позволяет хранить все промежуточные состояния цикла эмуляции, останавливаться и стартовать с заранее заданных контрольных точек. Veloce StratoM поддерживает 4 основных режима работы: ускорение моделирования, внутрисхемную эмуляцию, валидацию встроенного программного обеспечения и «виртуальную лабораторию». Уникальными на рынке аппаратных эмуляторов являются такие характеристики, как поддержка многопользовательского режима (до 64 одновременно выполняющихся задач), очень малое время компиляции и загрузки проектов (2 млрд вентиляей за 2 мин), малая занимаемая площадь и низкая потребляемая мощность.

Получив исчерпывающе верифицированный RTL-код, можно приступать к физической реализации проекта SoC.

ФИЗИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ SoC

Основные этапы физического уровня проектирования и верификации представлены на рисунке 5.

Этот уровень начинается с синтеза RTL-кода [2], который выполняется с помощью приложения OASYS-RTL. В качестве входных данных это приложение использует стандартные форматы:

- RTL-код (Verilog, VHDL, SystemVerilog);
- библиотека стандартных ячеек под конкретный технологический процесс (LIB);
- физическая библиотека (LEF);
- временные и топологические ограничения систем синхронизации (SDC);
- ограничения по потребляемой мощности (CPF/UPF);
- входная DFT-информация (CTL);
- ограничения по размещению и планировке кристалла (DEF).

На выходе OASYS-RTL формируются следующие данные:

- вентиляный Verilog-нетлист;
- предварительная информация о размещении (DEF);
- данные о цепях сканирования для DFT (Scandef).

Одно из главных отличий OASYS-RTL от традиционных систем синтеза состоит в том, что он уже на начальном этапе использует разбивку RTL-кода на некоторые области с их предварительным «виртуальным» размещением и оценкой получающихся параметров по временным соотношениям, потребляемой мощности, размещению, занимаемой площади и возможным конфликтам при трассировке. Это позволяет оптимизировать синтезируемый проект ещё на этапе RTL-кода, в отличие от традиционных систем, которые выполняют основную оптимизацию уже на уровне вентиляей. Одновременно оцениваются и параметры всего проекта в целом и, в случае необходимости, выполняется перераспределение с повторным синтезом отдельных блоков. Это позволяет получить более высокое качество результатов уже после первого прохода. Для оптимизации мощности используются такие технологии, как библиотеки компонентов с несколькими порогами срабатывания, стробирование синхросигналов, системы с несколькими переключаемыми пирами питания и др.

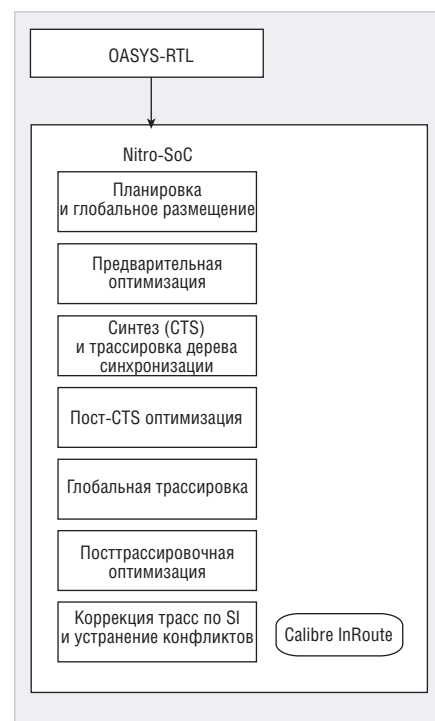


Рис. 5. Физическое проектирование SoC

Другими уникальными возможностями OASYS-RTL являются анализ и валидация готовых RTL-функциональных блоков в процессе синтеза. Анализируется корректность временных параметров и возможных конфликтов при размещении и трассировке.

OASYS-RTL имеет единый пользовательский интерфейс, обеспечивающий одновременный просмотр логического и физического представлений проекта с возможностью кросс-ссылок между ними и локализацией потенциальных нарушений временных параметров и конфликтов при трассировке.

Приложение поддерживает синтез проектов ёмкостью более 100 млн вентиляей и обеспечивает скорость синтеза, на порядок превышающую возможности традиционных синтезаторов.

За счёт использования стандартного представления входных и выходных данных OASYS-RTL может применяться как в маршруте проектирования Mentor Graphics, так и в маршрутах других поставщиков средств проектирования.

Получив оптимизированный нетлист на выходе OASYS-RTL, можно приступать к размещению и трассировке всего кристалла [2]. Эта задача решается с помощью приложения Nitro-SoC. Формат MXDB (Mentor eXchange Data Base) обеспечивает оптимальную передачу данных с этапа синтеза на этап размещения и трассировки. Основные этапы физического проек-

тирования, выполняемые в приложении Nitro-SoC:

- планировка кристалла и глобальное размещение;
- предварительная оптимизация;
- синтез (CTS) и трассировка дерева синхронизации;
- пост-CTS оптимизация;
- трассировка кристалла;
- посттрассировочная оптимизация;
- коррекция трасс по результатам анализа целостности сигналов и устранения конфликтов трассируемости;
- удвоение межслойных переходов (Calibre InRoute);
- генерация полигонов для технологии двойного фотошаблона (DP – Double Patterning) (Calibre InRoute);
- оптимизация по результатам анализа DFM-правил (Calibre InRoute).

На этапе планировки и размещения возможны различные алгоритмы работы, включая «плоский», иерархический и «псевдоплоский». Поддерживается размещение как для канальной, так и для бесканальной трассировки. На этапе распределения пинов учитываются выполнение временных ограничений и возможные конфликты при трассировке. С помощью специальной технологии размещения макросов (AMP – Automatic Macro Placement) достигается очень высокое качество результатов размещения.

В процессе синтеза и трассировки дерева синхросигнала применяется специальный алгоритм MCMM (Multi-Corner Multi-Mode), который позволяет не только устранить перекосы в распространении синхросигнала, вызванные технологическими вариациями, например вариациями резистивности трасс, но и оптимизировать проект с точки зрения экономии дополнительных буферов в цепях синхронизации, оптимизации площади кристалла и потребляемой мощности.

Nitro-SoC имеет встроенный механизм оптимизации потребляемой мощности, который используется на всех этапах физического проектирования. Это позволяет сократить потребление мощности, в том числе дополнительно до 10% на финальном этапе оптимизации, что достигается за счёт применения специальных алгоритмов оптимизации мощности в процессе трассировки, которые обеспечивают баланс между динамически потребляемой мощностью, мощностью утечки, быстродействием и площадью кристалла.

Nitro-SoC поддерживает самые современные технологии мультишаблона и FinFET [8] и сертифицирован для технологических норм 7 нм в компании TSMC. Ультракомпактная база данных приложения обеспечивает работу с проектами ёмкостью более 100 млн вентилях при минимальных затратах оперативной памяти рабочей станции. За счёт встроенных механизмов параллелизма в каждом исполнительном блоке достигается очень высокая скорость получения финального варианта топологии: до 1,5 млн вентилях за 24 часа. Приложение поддерживает распараллеливание на многоядерных и многопроцессорных системах с использованием алгоритмов multithreading и fine-grained multiprocessing.

В традиционных маршрутах проектирования после получения топологии кристалла в формате GDSII или OASIS следуют этап верификации топологии с точки зрения выполнения DRC- и DFM-правил, при необходимости – экстракция паразитных параметров для более точного моделирования отдельных блоков на уровне Spice или FastSpice, дополнительные процедуры по коррекции топологии (OPC, PSM, sRAF и др.) для технологических норм 65 нм и ниже. Последний этап, как правило, выполняется изготовителем кристалла.

Компания Mentor Graphics предложила уникальную технологию DRC/DFM-верификации топологии непосредственно в процессе трассировки в Nitro-SoC с помощью приложения Calibre InRoute. Для этого была разработана архитектура OpenRouter, которая запускает все DRC- и DFM-процедуры Calibre непосредственно изнутри цикла трассировки. Любое нарушение правил, обнаруженное Calibre InRoute, автоматически исправляется программой трассировки Nitro-SoC в инкрементном режиме. Такой подход позволяет существенно сократить количество итераций физической верификации, по существу получив финальный верифицированный вариант топологии (sign-off tapeout) на первом проходе. Другим преимуществом является отсутствие передачи больших массивов данных, т.к. ядра программы трассировки и программы верификации работают на одном хосте. Как уже было сказано, Calibre InRoute, помимо классического контроля DRC, включает все процедуры DFM (Calibre LFD, Calibre CMP Analyzer, Calibre YieldAnalyzer, Calibre YieldEnhancer), а также такие технологии

повышения качества DFM, как заполнение металлом (metal fill), технологии двойного и мультишаблона (double-pattern, multi-pattern) и метод сравнения с библиотекой шаблонов (pattern matching). Все файлы правил (rule decks) DRC и DFM, которые использует Calibre InRoute, сертифицированы ведущими фабриками для технологических узлов вплоть до 7 нм. Приложение, функционально аналогичное Calibre InRoute, которое предлагается для использования в сторонних маршрутах проектирования, получило название Calibre RealTime.

На завершающем этапе физического проектирования часто возникает необходимость выполнения ещё двух важных операций – статического временного анализа и анализа целостности по цепям питания. Для решения первой задачи предназначено приложение Optimus DS. Оно позволяет работать как с плоскими, так и с иерархическими проектами, поддерживает алгоритм MCMM (Multi-Corner Multi-Mode), включает анализ целостности сигналов, учитывает вариативность параметров ячеек, а также за счёт распараллеливания на многоядерных системах поддерживает проекты до 100 млн вентилях в иерархическом режиме. Скорость обработки на плоских проектах, включая анализ целостности сигналов, составляет около 30 млн вентилях за 6 ч.

Для решения задачи анализа целостности питания предназначено приложение BlueWave PI. Оно анализирует искажения по цепям питания в переходных режимах и при одновременном переключении сигналов в соседних цепях, обнаруживает недопустимые падения напряжения (электромиграция) в цепях питания в статическом и динамическом режимах, анализирует наведённые шумы и многое другое. BlueWave PI поддерживает распределённые вычисления, что позволяет анализировать проекты большого объёма за короткое время. Как Optimus DS, так и BlueWave PI полностью интегрированы с приложением физического проектирования Nitro-SoC.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ, КОРРЕКЦИЯ И ПОДГОТОВКА ФОТОШАБЛОНА

Если по каким-либо причинам физическая верификация не может быть проведена на этапе трассировки, например если Calibre используется в стороннем маршруте проектиро-

вания и пользователь не имеет лицензии Calibre RealTime или если всё-таки требуется финальная, более исчерпывающая верификация перед этапом tapeout, можно использовать платформу Calibre в режиме stand-alone.

Общая структура приложений Calibre, которые используются до этапа sign-off tapeout, приведена на рисунке 6.

На этом этапе можно выделить 3 функциональные группы приложений:

1. Группа физической верификации.
2. Группа DFM (Design for Manufacturing).
3. Группа верификации схемы.

Как правило, верификация начинается с прогона Calibre nmDRC и проверки выполнения правил из rule deck для технологии, по которой будет изготовлен кристалл. На сегодняшний день Calibre nmDRC является де-факто стандартом в области физической верификации. Файлы правил Calibre nmDRC появляются и обрабатываются на фабриках задолго до того, как та или иная технология запускается в серийное производство. Таким образом, пользователи всегда имеют надёжные и проверенные данные, которые позволяют со 100%-й точностью верифицировать проекты. Программа отличается исключительно высокой скоростью обработки и экономным использованием ресурсов памяти. Распараллеливание обработки в режиме hyperscaling на многоядерных или многопроцессорных системах обеспечивает существенное повышение производительности.

Для технологических норм 20 нм и ниже оказывается недостаточно контроля геометрических правил проектирования. В последнее время появились технологии двойного фотошаблона и мультифотошаблона, которые позволяют повысить разрешающую способность рисунка топологии за счёт применения нескольких фотошаблонов. Эта задача решается с помощью опции Calibre Multi-Patterning, которая обеспечивает автоматическое или полуавтоматическое разбиение рисунка слоя на две или несколько частей для получения нескольких фотошаблонов.

Другая технология, широко применяемая для продвинутых технологических норм, получила название Pattern Matching. В состав платформы Calibre входит опция с соответствующим названием Calibre Pattern Matching. Суть технологии сводится к тому, что вместо обработки геометрических правил, описанных на

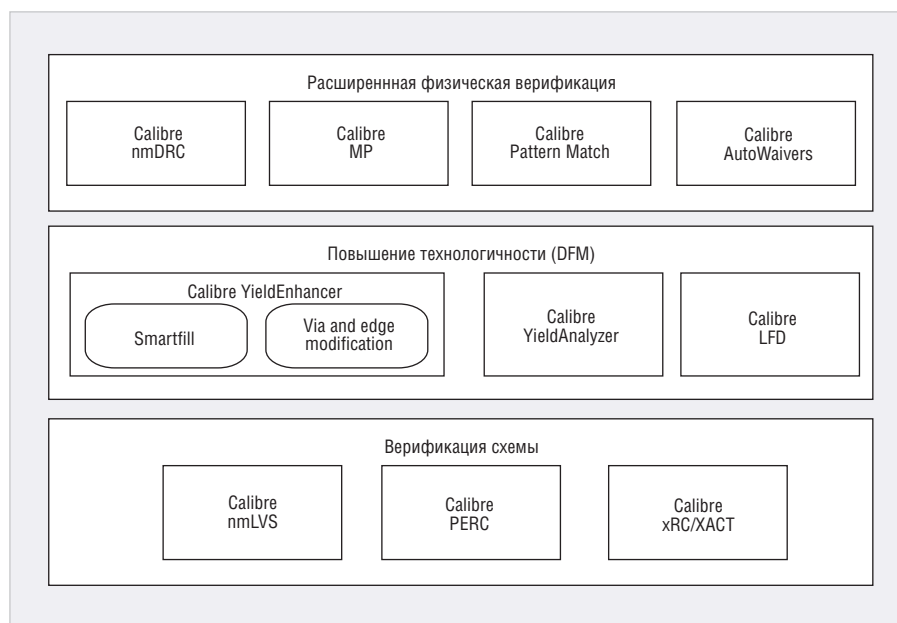


Рис. 6. Приложения Calibre, используемые до этапа tapeout

языке SVRF, опция использует заранее сохранённую библиотеку верифицированных шаблонов рисунков топологии для сравнения с топологией текущего проекта и установки маркера «Верифицирован» в случае совпадения. Это позволяет существенно ускорить и повысить точность процесса верификации.

Последняя опция из данной группы – Calibre AutoWaiver – обеспечивает «маскировку» и исключение из процесса верификации областей топологии, которые по какой-либо причине не нуждаются в данной процедуре. Например, это могут быть заранее верифицированные для данной технологии физические IP-блоки или области, хотя и генерирующие формальные ошибки верификации, но не влияющие на процесс изготовления и выхода годных.

К группе DFM относятся опции Calibre YieldEnhancer, Calibre YieldAnalyzer и Calibre LFD.

Первая из них реализует ряд операций, которые направлены на повышение «технологичности», а следовательно, повышения выхода годных. К таким операциям относятся заполнение металлом разреженных областей топологии (smart fill), удвоение межслойных переходов (double via) и другие. Опция Calibre YieldAnalyzer обеспечивает обратную связь от этапа анализа выхода годных после изготовления кристалла к процессу физической верификации. Она анализирует критические области отказов и формирует дополнительные правила (на языках SVRF и TVF), которые затем вклю-

чаются в библиотеки DRC/DFM-правил с целью повышения выхода годных в последующих выпусках данного кристалла или других проектах, выполняющихся по той же технологии. Опция Calibre LFD моделирует влияние вариаций параметров процесса фотолитографии на возникновение дефектов в топологии кристалла и формирует корректирующие правила, сводящие данное влияние к минимуму.

Последняя группа относится к верификации параметров схемы. Модуль Calibre nmLVS решает классическую задачу извлечения параметров полупроводниковых приборов и их связности из топологического представления проекта и сравнения их с исходным нетлистом схемы проекта. Вторая важная задача – передача паразитных параметров, полученных с помощью приложения экстракции Calibre xRC/XACT, в исходный нетлист для последующего более точного Spice-моделирования в приложениях Eldo или AFS. Как и все остальные приложения платформы Calibre, Calibre nmLVS поддерживает как плоские, так и иерархические проекты и распараллеливание на многоядерных системах. Оно интегрировано с приложением Calibre PERC, что позволяет учитывать при моделировании не только геометрические, но и электрические параметры.

Одной из важнейших задач, которая стоит перед разработчиками SoC, является экстракция паразитных параметров непосредственно из топологии кристалла. Как уже было сказано, это позволяет проводить

более точное моделирование формы и задержек сигнала с учётом реального размещения и топологии ячеек. Эта задача решается с помощью приложения Calibre xRC. Экстракция выполняется на основе заранее верифицированных фабриками правил, описанных на языке SVRF. Такие файлы правил имеются практически для всех существующих фабрик и технологических процессов. Как и все приложения платформы Calibre, Calibre xRC поддерживает работу с иерархическими проектами и распределённую обработку на многоядерных системах, а также практически все модели экстракции (R, C, RCC, RCLM и др.). Выходные форматы (Hspice, Eldo, Spectre, Calibreview, DSPF, SPEF и др.) позволяют создавать нетлист, используя все известные системы моделирования. Эти же данные могут быть применены для статического временного анализа, анализа целостности сигналов, анализа цепей питания на предмет недопустимых падений напряжения.

Для технологий с нормами менее 20 нм, включая FinFET, компания Mentor Graphics разработала новое приложение Calibre xACT [9]. Оно включает новое счётное 3D-ядро, которое позволяет учитывать все эффекты продвинутых технологий, например эффект уменьшения размеров «плавника» и стока, которые приводят к увеличению сопротивления между исто-

ком и стоком и снижению быстродействия транзистора.

Последнее приложение из группы верификации схем относится к новому поколению инструментов для повышения надёжности работы SoC. Приложение Calibre PERC является мощным средством анализа различных электрических эффектов, которые могут привести к деградации работы и полному отказу схемы. К ним относятся эффект электрического «перенапряжения» в цепях питания, эффект электростатического разряда, пересечение сигнальными проводниками областей с различными номиналами питания и многое другое. Calibre PERC поддерживает как стандартные файлы правил на языке SVRF, так и «кастомизированные» пользователем правила на Tcl-TVF. Приложение полностью интегрировано с другими решениями платформы Calibre.

Последняя группа приложений Calibre относится к этапу post-tapeout и предназначена для выполнения ряда процедур, ориентированных на повышение разрешающей способности в процессе фотолитографии, а также на подготовку данных для изготовления фотомаски. Поскольку эти процедуры обычно выполняются специалистами фабрики, мы не будем подробно на них останавливаться в данной статье. Ограничимся кратким перечислением основных технологий повышения разрешающей способности:

- оптическая коррекция – OPC (Optical Proximity Correction);
- фазовый сдвиг за счёт изменения толщины фотомаски – PSM (Phase-Shift Mask);
- добавление рассеивающих линий – OPCsbar (OPC Scattering Bars);
- добавление специальных структур для повышения разрешения – SRAF (Sub-Resolution Assist Feature).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье был рассмотрен маршрут проектирования SoC от компании Mentor Graphics. Основное внимание было уделено цифровым системам. Следует отметить, что все приложения, рассмотренные в статье, могут с одинаковым успехом работать как в интегрированном маршруте Mentor Graphics, так и в качестве точечных решений в маршрутах других компаний.

Отдельные статьи мы планируем посвятить маршруту проектирования аналоговых и смешанных SoC, а также средствам тестирования и диагностики SoC (DFT).

ЛИТЕРАТУРА

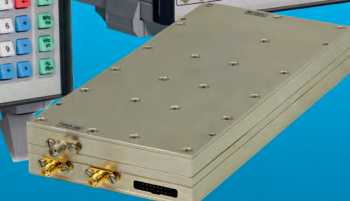
1. NVIDIA Launches Revolutionary Volta GPU Platform, Fueling Next Era of AI and High Performance Computing. NVIDIA Press Release, May 10, 2017.
2. Немудров В., Мартин Г. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие. – М.: Техносфера, 2004.
3. Weller Y., Rachamim R. Realizing ESL with Scalable Transaction Level Models. White Paper. Mentor Graphics, 2010.
4. Matalon S. Vista Virtual Prototyping. White Paper. Mentor Graphics, 2015.
5. Селиванов И. Маршруты высокоуровневого синтеза. Современная электроника. 2007. № 6.
6. Аряшев С.И., Рогаткин Б.Ю., Барских М.Е. Современные методы функциональной верификации RTL-моделей блоков СБИС микропроцессора. МЭС-2014. Россия, Москва, октябрь 2014.
7. Salvidge C., Chobisa V. The Veloce Strato Platform: Unique Core Components Create High Value Advantages. White Paper. Mentor Graphics, 2017.
8. Narayanan A., Winefeld B. FinFET and Multi-Patterning Aware Place and Route Implementation. White Paper. Mentor Graphics, 2016.
9. Chow K., Relayea C., Clee C., Abouzeid K. The Calibre XACT Platform: Next-Generation Parasitic Extraction for 16 nm and Beyond. White Paper. Mentor Graphics, 2015.



IF/RF & Microwave Design

Advantex





СВЧ-блоки

Синтезаторы частот до 20 ГГц, -140 дБн/Гц @ 1 ГГц, при отстройке 10 кГц, умножители частоты

Аттенюаторы, управляемые напряжением до 26 ГГц

Усилители до 20 ГГц, 0.5 Вт

I/Q модуляторы / демодуляторы, смесители, фильтры

Приборы

Генераторы сигналов, электронные аттенюаторы, I/Q-модуляторы

www.advantex.ru

Реклама

НОВОСТИ МИРА

Доля отечественного ПО в госзакупках органов власти с 2015 года выросла с 20 до 65%

С 2015 года доля отечественного программного обеспечения при осуществлении госзакупок органами государственной власти увеличилась в среднем с 20 до 65%. Об этом рассказал заместитель министра цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации Алексей Соколов, выступая на форуме «Российский софт: эффективные решения».

Минкомсвязь ожидает, что к 2024 году российским будет 70% ПО, закупаемого госкомпаниями (в 2019 году – не менее 45%), и 90% ПО, закупаемого органами госвласти.

Замминистра напомнил, что с 2016 года министерство ведёт Реестр отечественного ПО. Сейчас в него включено более 5,2 тыс. программных продуктов, разделённых на 24 класса. С конца 2018 года в постановления правительства, посвящённые реестру, внесён ряд важных изменений. В частности, запущен Реестр евразийского программного обеспечения; введён запрет на принудительное обновление и управление ПО из-за рубежа; установлено ограничение на гарантийное и техобслужива-

ние, а также модернизацию ПО иностранными компаниями; введена возможность включения в реестр того ПО, которое предоставляется по модели SaaS (т.е. через удалённый доступ).

Чтобы стимулировать переход на преимущественное использование российского ПО госкомпаниями, правительство издало директивы от 6 декабря 2018 года. Минкомсвязь совместно с крупнейшими госкомпаниями организовала работу по их исполнению. По просьбе госкомпаний создаётся межведомственная рабочая группа, в которой запланированы четыре секции: «Финансы», «Транспорт», «Энергетика» и «Промышленность».

В качестве успешного примера перехода на отечественное ПО Алексей Соколов привёл РЖД: при госкомпании создан постоянно действующий координационный орган под руководством главы Минкомсвязи Константина Носкова, доработана ИТ-стратегия, правительство утвердило план поэтапного перехода на отечественную архитектуру, этот план уже реализуется.

Алексей Соколов также рассказал о ходе импортозамещения телекоммуникационного оборудования. Сейчас проходит межведомственное согласование проект поста-



новления правительства, ограничивающий госзакупки иностранной радиоэлектронной продукции. Используемое в составе такой продукции ПО должно быть включено в Реестр отечественного ПО.

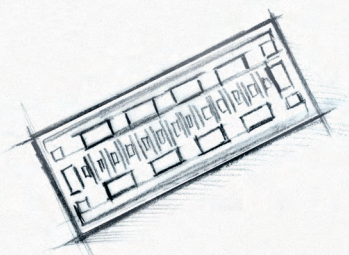
Кроме того, планируется выпустить директивы по закупкам преимущественно отечественного телеком-оборудования при создании инфраструктуры за счёт бюджетных средств. Минкомсвязь и Минпромторг уже подготовили перечень из 419 наименований оборудования, которое потребуется для подключения социально значимых объектов к интернету. В перечне также приводятся необходимые количество (по годам) и технические характеристики такого оборудования.

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ

CREE

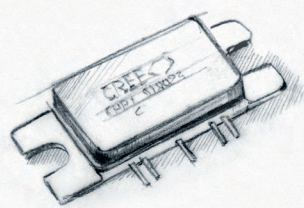
Wolfspeed

НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



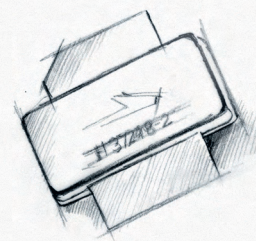
Кристаллы СВЧ-транзисторов GaN/SiC

- Диапазон частот: DC...6,0 ГГц
- Выходная мощность: 8, 15, 30, 40 Вт
- Типовое усиление: 15–17 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40, 50 В



Широкополосные GaN HEMT-транзисторы общего назначения

- Диапазон частот: L, S, C, X
- Выходная мощность: 800 Вт – L-диапазон, 180 Вт – S-диапазон, 6 Вт – X-диапазон
- Типовое усиление: 13–20 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40, 50 В



LDMOS-транзисторы

- Диапазон частот: 400...1400 МГц, 420...960 МГц, 700...2200 МГц, 1800...2000 МГц, 2000...2200 МГц, 2300...2400 МГц, 2500...2700 МГц
- Выходная мощность: до 600 Вт
- Типовое усиление: 16–30 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 30, 48, 50 В

ProCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU

Реклама

Защита инноваций, инвестиций, бизнеса авторским правом

Часть 2

Геннадий Фокин (finas@live.ru)

Во второй части статьи продолжается рассказ о правовом регулировании в сфере гражданского оборота интеллектуальной собственности. Основное внимание уделено вопросу реализации авторских прав и сложностям, которые могут при этом возникнуть.

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОРСКИХ ПРАВ

Имея на руках авторское свидетельство и опираясь на помощь поводыря, можно смело извлекать дивиденды авторского права. Для этого целесообразно обратить внимание на несколько правовых норм ГОИС.

Автором РИД может быть признан только гражданин, творческим трудом которого он создан (статья 1228 ГК РФ). Авторское свидетельство позволяет отсеять от дивидендов научных руководителей, администраторов и консультантов – не признаются авторами граждане, не внесшие личного творческого вклада в создание РИД, в том числе оказавшие автору только техническое, консультационное, организационное или материальное содействие, помощь, либо только способствовавшие оформлению прав на РИД или его использованию и осуществлявшие контроль выполнения интеллектуальной деятельности или научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Право авторства, право на имя и иные личные неимущественные права автора неотчуждаемы и непередаваемы. Отказ от этих прав ничтожен. Исключительное право на РИД, созданный творческим трудом, первоначально возникает у его автора. Это право может быть передано автором другому лицу по договору, а также может перейти к другим лицам по иным основаниям, установленным законом. Не следует путать принадлежность (например, в порядке трудовых отношений и обязанностей согласно правовым нормам статьи 1295 ГК РФ) и переход исключительного права к правопреемнику (работодателю). Переход исключительного права к правопреемнику, включая работодателя, осуществляется исключительно в порядке договора об отчуждении

исключительного права или универсального правопреемства (наследование, изменение организационно-правовой формы предприятия или предпринимателя).

Гражданин или юридическое лицо, обладающие исключительным правом на РИД (правообладатель), вправе его использовать по своему усмотрению любым не противоречащим закону способом (статья 1229 ГК РФ). Правообладатель может распоряжаться исключительным правом (отчуждение или разрешение на использование РИД в форме лицензии); может по своему усмотрению разрешать или запрещать другим лицам использование РИД – авторское свидетельство является единственным основанием распоряжения автором своим исключительным правом.

Отсутствие запрета не считается согласием (разрешением). Другие лица не могут использовать РИД без согласия его правообладателя. Использование РИД, если оно осуществляется без согласия правообладателя, является незаконным и влечёт ответственность (административную, налоговую, уголовную), за исключением случаев, когда использование РИД иными, чем правообладатель, лицами без его согласия допускается правовыми нормами ГК РФ, например когда произведение становится общественным достоянием.

В случае когда исключительное право на РИД принадлежит нескольким лицам совместно, каждый из правообладателей может использовать такой результат по своему усмотрению, если ГК РФ или соглашением между правообладателями не предусмотрено иное. Взаимоотношения лиц, которым исключительное право принадлежит совместно, определяются соглашением между ними (договором о совместном распо-

ряжении исключительным правом). Неотъемлемыми приложениями этого договора должны стать авторские свидетельства всех соавторов, иначе при разрешении споров им нечем будет аргументировать свою причастность к созданию РИД.

Распоряжение исключительным правом на РИД осуществляется правообладателями совместно, если ГК РФ или соглашением между правообладателями не предусмотрено иное. Доходы от совместного использования РИД либо от совместного распоряжения исключительным правом на РИД распределяются между всеми правообладателями в равных долях, если соглашением между ними не предусмотрено иное. Не существует долей исключительного права – каждый соавтор владеет и распоряжается исключительным правом в полном объёме. Договором о совместном распоряжении исключительным правом могут устанавливаться только доли прибыли каждого соавтора от эксплуатации интеллектуальной собственности третьими лицами. Вместе с тем многие работники и работодатели путают долю прибыли с поощрительным вознаграждением за создание служебной интеллектуальной собственности, наращивая негативные последствия административных, налоговых, уголовных правонарушений ГОИС ввиду невыплаты авторского или лицензионного гражданско-правового вознаграждения. Каждый из правообладателей вправе самостоятельно принимать меры по защите своих прав на РИД, но с учётом сказанного ранее о необходимости авторского свидетельства.

Правообладатель может распоряжаться принадлежащим ему исключительным правом на РИД любым не противоречащим закону и существу такого исключительного права способом (статья 1233 ГК РФ), в том числе путём его отчуждения по договору другому лицу (договор об отчуждении исключительного права) или предоставления другому лицу права использования соответствующих РИД в установленных договором пределах (лицензионный



договор), – соответственно, каждому соавтору, как указано ранее, необходимо персональное авторское свидетельство.

Заключение лицензионного договора не влечёт за собой переход исключительного права к лицензиату. Договор, в котором прямо не указано, что исключительное право на РИД передаётся в полном объёме, считается лицензионным договором, за исключением договора, заключаемого в отношении права использования РИД, специально созданного или создаваемого для включения в сложный объект (например, в технологию).

Условия договора об отчуждении исключительного права или лицензионного договора, ограничивающие право гражданина создавать РИД определённого рода или в определённой области интеллектуальной деятельности либо отчуждать исключительное право на такие результаты другим лицам, ничтожны. Для признания договора ничтожным тоже потребуются авторское свидетельство.

Правообладатель может сделать публично, т.е. путём сообщения неопределённому кругу лиц, заявление (например, путём оферты на официальном сайте федерального органа исполнительной власти и только в отношении бесхозной или принадлежащей ведомству или субъекту Федерации интеллектуальной собственности) о предоставлении любым лицам возможности безвозмездно использовать принадлежащие ему произведения науки, литературы или искусства либо объект смежных прав на определённых правообладателем условиях и в течение указанного им срока. Как ни странно, без авторского свидетельства любая интеллектуальная собственность является бесхозной и федеральный орган исполнительной власти может объявить себя правообладателем – аргументировать нарушение и присвоение интеллектуальных прав автору будет нечем.

В течение указанного срока любое лицо вправе использовать данное произведение или данный объект смежных прав на определённых правообладателем условиях. Автор или иной правообладатель в случае, если исключительное право на произведение или на объект смежных прав нарушено неправомерным размещением заявления (оферты) федерального органа исполнительной власти, вправе требовать применения

к нарушителю мер защиты исключительного права в соответствии со статьёй 1252 ГК РФ, но, как уже упоминалось, без авторского свидетельства это будет напрасный труд.

Лицо, организовавшее создание сложного объекта (статья 1240 ГК РФ), включающего несколько охраняемых РИД (кинофильма, иного аудиовизуального произведения, театрально-зрелищного представления, мультимедийного продукта, базы данных, а также технологии и единой технологии, отражённой в методике, регламенте или стандарте на процесс, продукцию, качество), приобретает право использования указанных результатов на основании договоров об отчуждении исключительного права или лицензионных договоров, заключаемых таким лицом с обладателями исключительных прав на соответствующие РИД, – без авторского свидетельства всё это опять-таки сопряжено с рисками административных, налоговых, уголовных правонарушений ГОИС.

В случае когда лицо, организовавшее создание сложного объекта, приобретает право использования РИД, специально созданного или создаваемого для включения в такой сложный объект, соответствующий договор считается договором об отчуждении исключительного права, если иное не предусмотрено соглашением сторон. Неотъемлемым приложением к такому договору должно быть авторское свидетельство.

Лицензионный договор, предусматривающий использование РИД в составе сложного объекта, заключается на весь срок и в отношении всей территории действия соответствующего исключительного права, если договором не предусмотрено иное, – неотъемлемым приложением к этому договору также должно стать авторское свидетельство. При этом условия лицензионного договора, ограничивающие использование РИД в составе сложного объекта, недействительны.

Переход исключительного права на РИД к другому лицу без заключения договора с правообладателем допускается в случаях и по основаниям, которые установлены законом, в том числе в порядке универсального правопреемства (наследование, реорганизация) и при обращении взыскания на имущество правообладателя (статья 1241 ГК РФ).

Лицо, указанное автором на оригинале или экземпляре произведения

либо иным образом в соответствии с пунктом 1 статьи 1300 ГК РФ, считается его автором, если не доказано иное, – для доказательств опять же потребуются авторское свидетельство.

Не допускается без согласия автора внесение в его произведение изменений, сокращений и дополнений, снабжение произведения при его использовании иллюстрациями, предисловием, послесловием, комментариями или какими бы то ни было пояснениями – право на неприкосновенность произведения (статья 1266 ГК РФ). Также не допускается несанкционированное заимствование контента с целью его коммерциализации – в этом суть плагиата. Для защиты от плагиата, кроме авторского свидетельства, потребуется подготовка спецификации РИД совместно с поводырём.

При этом целесообразно помнить, что авторские права распространяются на часть произведения, его название, персонажей произведения, если по своему характеру они могут быть признаны самостоятельным результатом творческого труда автора (статья 1259 ГК РФ). Вывод: для таких составных частей, наименований и персонажей целесообразно оформлять отдельные спецификации РИД и авторские свидетельства.

Правообладатель для оповещения о принадлежащем ему исключительном праве на произведение вправе использовать знак охраны авторского права, который помещается на каждом экземпляре произведения и состоит из следующих элементов: латинской буквы С в окружности – ©, имени или наименования правообладателя, года первого опубликования произведения (статья 1271 ГК РФ). При этом копирайт – это только уведомление-декларация охраноспособности РИД и прав на него, он не может заменить авторского свидетельства с его процедурой компетентной и объективной оценки соответствия РИД условиям охраны авторским, смежным, патентным правом экспертом-аудитором ПМИС.

При отчуждении автором оригинала произведения (рукописи, оригинала произведения живописи, скульптуры и т.п.), включая отчуждение оригинала произведения по договору авторского заказа, исключительное право на произведение сохраняется за автором, если договором не предусмотрено иное (статья 1291 ГК РФ). В случае если исключительное право на произведение не перешло к приобретателю его оригина-

нала, приобретатель без согласия автора или иного правообладателя и без выплаты ему вознаграждения вправе демонстрировать приобретённый в собственность оригинал произведения и воспроизводить его в каталогах выставок и в изданиях, посвящённых его коллекции, а также передавать оригинал произведения для демонстрации на выставках, организуемых другими лицами, – типичный пример правового нигилизма и забывчивости правопреемника, который, получив оригинал, не получил исключительных прав.

При этом приобретатель оригинала произведения изобразительного искусства или фотографического произведения, который изображён на этом произведении, вправе без согласия автора или иного правообладателя и без выплаты ему вознаграждения использовать это произведение в качестве иллюстрации при издании своих литературных произведений, а также воспроизводить, публично показывать и распространять без цели извлечения прибыли копии произведения, если иное не предусмотрено договором с автором или иным правообладателем.

Приобретатель фотографического произведения, который изображён на этом произведении, также вправе свободно использовать его в связи с изданием произведений, посвящённых биографии приобретателя, если иное не предусмотрено договором с автором или иным обладателем прав на фотографическое произведение.

Авторские права на произведение науки, литературы или искусства, созданное в пределах установленных для работника (автора) трудовых обязанностей (служебное произведение), принадлежат автору. Исключительное право на служебное произведение принадлежит работодателю, если трудовым или гражданско-правовым договором между работодателем и автором не предусмотрено иное (статья 1295 ГК РФ). Принадлежность исключительного права означает необходимость его перехода (передачи) работодателю на условиях договора об отчуждении исключительного права согласно правовой норме статьи 1228 ГК РФ. Без соблюдения этой правовой нормы исключительное право остаётся у автора (создателя) произведения.

Если работодатель в течение трёх лет со дня, когда служебное произведение было предоставлено в его распоряжение, не начнёт использование этого

произведения, не передаст исключительное право на него другому лицу или не сообщит автору о сохранении произведения в тайне, исключительное право на служебное произведение возвращается автору. Если работодатель в предусмотренный срок начнёт использование служебного произведения или передаст исключительное право другому лицу, автор имеет право на вознаграждение. Автор приобретает указанное право и в случае, когда работодатель принял решение о сохранении служебного произведения в тайне (например, в режиме коммерческой тайны ноу-хау) и по этой причине не начал использование этого произведения в указанный срок.

Размер вознаграждения, условия и порядок его выплаты работодателем определяются договором между ним и работником, а в случае спора – судом. Очевидно, что без авторского свидетельства не обойтись. И если работодатель не хочет его оформлять за свой счёт, поскольку произведение является служебным, то автору целесообразно самому подстраховаться, тем более что затраты на признание и паспортизацию интеллектуальной собственности легко впоследствии компенсировать за счёт работодателя, даже бывшего.

Право на вознаграждение за служебное произведение неотчуждаемо и не переходит по наследству, однако права автора по договору, заключённому им с работодателем, и не полученные автором доходы переходят к наследникам. В случае если исключительное право на служебное произведение принадлежит автору, работодатель имеет право использования соответствующего служебного произведения на условиях простой (неисключительной) лицензии с выплатой правообладателю вознаграждения.

Исключительное право на программу для ЭВМ, базу данных или иное произведение, созданные по договору, предметом которого было создание такого произведения (по заказу), принадлежит заказчику, если договором между подрядчиком (исполнителем) и заказчиком не предусмотрено иное (статья 1296 ГК РФ). При этом договор подряда, на выполнение работ, на оказание услуг должен содержать требования, условия, порядок и отдельную плату (выделенный размер вознаграждения в цене договора) за отчуждение исключительного права правопреемника по услови-

ям договора. Неотъемлемым приложением к такому договору должно стать авторское свидетельство.

Исключительное право на программу для ЭВМ, базу данных или иное произведение, созданные при выполнении договора подряда либо договора на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских или технологических работ, которые прямо не предусматривали создание такого произведения, принадлежит подрядчику (исполнителю), если договором между ним и заказчиком не предусмотрено иное (статья 1297 ГК РФ). Произвольные дополнения к цене договора также возможны.

Исключительное право на произведение науки, литературы или искусства, созданное по государственному или муниципальному контракту для государственных или муниципальных нужд, принадлежит исполнителю, являющемуся автором либо иным выполняющим государственный или муниципальный контракт лицом, если государственным или муниципальным контрактом не предусмотрено, что это право принадлежит РФ, субъекту РФ или муниципальному образованию, от имени которых выступает государственный или муниципальный заказчик, либо совместно исполнителю и РФ, исполнителю и субъекту РФ или исполнителю и муниципальному образованию (статья 1298 ГК РФ).

Если в соответствии с государственным или муниципальным контрактом исключительное право на произведение науки, литературы или искусства принадлежит РФ, субъекту РФ или муниципальному образованию, исполнитель обязан путём заключения соответствующих договоров со своими работниками и третьими лицами приобрести все права или обеспечить их приобретение для передачи соответственно РФ, субъекту РФ и муниципальному образованию. При этом исполнитель имеет право на возмещение затрат, понесённых им в связи с приобретением соответствующих прав у третьих лиц.

Если исключительное право на произведение науки, литературы или искусства, созданное по государственному или муниципальному контракту для государственных или муниципальных нужд, принадлежит не РФ, не субъекту РФ или не муниципальному образованию, правообладатель по требованию государственного или муницип-

ципального заказчика обязан предоставить указанному им лицу безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на использование соответствующего произведения науки, литературы или искусства для государственных или муниципальных нужд.

Если исключительное право на произведение науки, литературы или искусства, созданное по государственному или муниципальному контракту для государственных или муниципальных нужд, принадлежит

совместно исполнителю и РФ, исполнителю и субъекту РФ или исполнителю и муниципальному образованию, государственный или муниципальный заказчик вправе предоставить безвозмездную простую (неисключительную) лицензию на использование такого произведения науки, литературы или искусства для государственных или муниципальных нужд, уведомив об этом исполнителя. Работник, исключительное право которого перешло к исполните-

лю, имеет право на вознаграждение в соответствии с абзацем 3 пункта 2 статьи 1295 ГК РФ.

Государственный заказ/контракт, как и все предыдущие и ещё не описанные ситуации, без авторского свидетельства таит в себе множество рисков, правонарушений и возможных исков.

В заключение следует подчеркнуть, что решение об оформлении/неоформлении авторского свидетельства на РИД в любом случае остаётся за его автором.



НОВОСТИ МИРА

ТЕРРИТОРИЯ NDT: НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ. ИСПЫТАНИЯ. ДИАГНОСТИКА

С 4 по 6 марта 2019 г. в Москве, в ЦВК «Экспоцентр» прошёл VI Международный промышленный форум «Территория NDT. Неразрушающий контроль. Испытания. Диагностика»

На общей площади в 2800 м² «Территория NDT 2019» объединила 58 компаний, среди которых разработчики, поставщики оборудования неразрушающего контроля и диагностики, сервисные компании, учебные и сертификационные центры, специализированные издания, национальные общества.

«КОНСТАНТА» продемонстрировала ультразвуковой толщиномер «Булат 3», который измеряет толщину стенок металлических и неметаллических изделий специального и общего назначения (в том числе под защитными покрытиями толщиной до 2 мм). Прибор обеспечивает высокую достоверность результатов в лабораторных, цеховых и полевых условиях.

«НПК Луч» представил новейшие образцы ультразвукового оборудования: многоканальный ультразвуковой дефектоскоп ПЕЛЕНГ™-115, ультразвуковой дефектоскоп УД2-70, ультразвуковой толщиномер УТ-111, толщиномер ультразвуковой ТУЗ-2, твёрдометр динамический ТДМ-2, твёрдометр динамический ТДМ-2, предназначенный для измерения твёрдости конструкционных, углеродистых и нержавеющих сталей, а также сплавов из цветных металлов по шкалам Роквелла (HRC) и Бринелля (HB).

Olympus представила новейшие дефектоскопы на фазированных решетках Olympus Omniscan, Focus PX, дефектоскопы Olympus Epoch 650, Epoch 6LT, жёсткие и гибкие УЗК-преобразователи и различные виды сканеров.

RayCraft продемонстрировала рентгеновские генераторы постоянного действия, независимо от геометрии излучения, оснаща-



ющиеся как стеклянными, так и керамическими колбами. Высоковольтная часть рентгеновского генератора имеет газовую изоляцию SF₆. Используется воздушное принудительное охлаждение.

Диапак презентовала автономную систему акустико-эмиссионного контроля MicroSHM, обеспечивающую надёжное решение по мониторингу структурной целостности (SHM) конструкций и мониторингу процессов на объектах, находящихся внутри и снаружи помещений.

«Энергодиагностика» представила приборы ИКН (измерители концентрации напряжений), предназначенные для измерения, регистрации и обработки данных диагностики напряжённо-деформированного состояния оборудования и конструкций с использованием метода магнитной памяти металла.

«Микроакустика-М» представила Измеритель концентрации магнитного порошка в суспензии для магнитопорошкового контроля ИКС-1, магнитопорошковый дефектоскоп МД-50П, предназначенный для проведения в производственных условиях качественного контроля ответственных деталей, магнитные индикаторы серии «МИНК».

Рентгеновские дефектоскопы с постоянным напряжением МАРТ-250, МАРТ-200 представила компания «Спектрофлэш». Аппараты серии МАРТ обеспечивают высокую контрастность и разрешение рентгеновских снимков за счёт возможности подбора величины вы-

сокого напряжения, оптимального для конкретной толщины просвечиваемого изделия.

Привлечённые сильным составом экспонентов и содержательной деловой программой, Форум посетили более 2900 человек – руководители компаний, начальники лабораторий, ведущие специалисты, инженеры из различных отраслей деятельности, ответственных за выбор и внедрение технологий НК и диагностики на предприятиях.

В круглых столах приняли участие ведущие разработчики, представители крупнейших корпораций и компаний, профильных институтов и ведомств: НТЦ «Эталон», ООО «НПЦ «Кропус», ООО «НПЦ «Эхо+», ООО «Константа», Университет ИТМО, НИИИИ МНПО «СПЕКТР», ООО «НУЦ «Качество», ВНИИМ, ГНС ИМАШ РАН, Учреждение науки ИКЦ СЭКТ, ООО «Микроакустика М», НИЦ «Курчатовский институт», Ростехнадзор, Инженерная школа НКБ ТПУ, Центр НК и ТД АО «ВНИИЖТ», ООО «АКС», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, «СертинК», ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана», ГК «Роскосмос», АО «НТЦ «Промышленная безопасность», ЦНИИ КМ «Прометей», УрФУ им. Б.Н. Ельцина и ИФМ УрО РАН, АО «Уралтрансмаш», ООО «АЛТЕС», ЗАО «НПО «Алькор».

Отчёт по результатам проведения круглых столов опубликован на сайте Форума expo.ronktd.ru.

Россия – родина электронного телевидения

К 150-летию со дня рождения Б.Л. Розинга

Владимир Бартнев (bartvg@rambler.ru)

5 мая 1869 года в Санкт-Петербурге родился Борис Львович Розинг, российский учёный и изобретатель, основоположник отечественного электронного телевидения, которому за первые опыты по передаче изображения на электронно-лучевую трубку Русское техническое общество присудило золотую медаль и премию имени К.Г. Сименса.

Введение

В марте этого года в Центральном музее связи состоялось торжественное открытие выставки «Триумф и трагедия учёного», посвящённой 160-летию со дня рождения А.С. Попова. Организаторы вложили глубокий смысл в название своей юбилейной выставки. Казалось бы, неоспоримым и подтверждённым историческим фактом является первая в мире демонстрация передачи информации с помощью электромагнитных волн, осуществлённая Поповым 7 мая 1895 года, однако до сих пор оспаривается и подвергается сомнению его приоритет в изобретении радиосвязи, а День радио в наше время заметно померк в своей исторической значимости по сравнению с тем, как он отмечался в СССР.

Теми же словами, а именно триумфом и трагедией, можно назвать судьбу другого великого отечественного первооткрывателя – создателя элек-

тронного телевидения Бориса Львовича Розинга [1].

Триумф и трагедия первооткрывателя электронного телевидения

С начала 1900-х годов Б.Л. Розинг уделял главное внимание исследованию способа передачи изображения на расстояние, или, как он его называл, «электрической телескопии». В этой области уже имелись определённые достижения, но все предлагаемые, главным образом за границей, схемы представ-

ляли собой лишь модификации оптико-механических систем. Розинг приходит к выводу, что этот принцип бесперспективен. Ещё до него первые опыты с использованием катодных трубок со светящимся экраном были проведены К.Ф. Брауном. В своей книге «Электрические лучи» Дмитрий Аполлинариевич Рожанский даёт описание трубки Брауна и всех её усовершенствований до того, как ему удалось применить её для наблюдения быстропротекающих процессов в 1907–1911 годах: «Трубкой Braun'a называется трубка с сильно разреженным газом, в которой катод является источником катодных лучей, которые, попадая на фосфоресцирующий экран, заставляют его ярко светиться. Если катодные лучи подвергнуть действию электрического поля колебаний при помощи конденсатора или магнитного поля при помощи катушек, то они



Борис Львович Розинг (1869–1933)

Группа XI.

№ 18076.

30 Октября 1910 г.

О П И С А Н И Е

способа электрической передачи изображений на расстояние.

Къ привилегіи надворнаго совѣтника **Б. Розинга**, въ г. С.-Петербургѣ, заявленной 25 Іюля 1907 года (охр. св. № 33075).

Въ предлагаемомъ способѣ электрической передачи изображеній на расстояние для достиженія синхронизма движеній свѣтового пучка на станціи отправленія и такового же пучка на станціи полученія въ качествѣ послѣдняго примѣняется катодный пучекъ, получаемый въ брауновской или иной подобной трубкѣ, причемъ направленіе этого пучка измѣняется подъ дѣйствіемъ на него магнитнаго или электрическаго поля, которое, въ свою очередь, опредѣляется въ каждый моментъ времени по величинѣ и направленію положеніемъ зеркалъ, направляющихъ свѣтовой пучекъ на станціи отправленія. Для измѣненія яркости свѣтового пучка на станціи полученія въ зависимости отъ яркости пучка на станціи отправленія, упомянутый выше катодный пучекъ предварительно, передъ прохожденіемъ его черезъ указанное магнитное или электрическое поле, заставляютъ проходить черезъ отверстіе діафрагмы, причемъ большее или меньшее количество его лучей, проникающихъ черезъ это отверстіе, а отсюда и яркость пятна, получаемаго послѣ паденія пучка на флуоресцирующій экранъ, опредѣляется отклоняющей силой другого магнитнаго или электрическаго поля, которое, въ свою очередь, измѣняется отъ дѣйствія фотоэлектрическаго приемника, воспринимающаго свѣтовой пучекъ на станціи отправленія.

На чертежѣ, фиг. 1 изображаетъ общій видъ устройства станціи отправленія согласно указаннымъ основнымъ принципамъ; фиг. 3—общій видъ станціи полученія;

фиг. 2 изображаетъ электрическое приспособленіе на одномъ изъ вращающихся зеркалъ станціи отправленія для установленія синхронизма между вращеніемъ этого зеркала и измѣненіемъ соотвѣтственной составляющей на станціи полученія. Фиг. 4 и 4а изображаютъ общую схему электрическихъ цѣпей, связывающихъ приборы на обѣихъ станціяхъ.

Станція отправленія (фиг. 1) представляетъ собою два вращающихся многогранныхъ зеркала *A* и *B*, оси вращенія которыхъ расположены другъ къ другу подъ угломъ и притомъ такъ, чтобы при вращеніи зеркалъ всѣ точки поля *MN* могли поочередно давать изображеніе при посредствѣ линзы *L* гдѣ-либо на оси этой линзы въ точкѣ *C*. Въ этой точкѣ помѣщается фотоэлектрический приемникъ, напримѣръ селеновый элементъ, или фотоэлементъ съ іодистымъ или бромистымъ серебромъ, или актиноэлектрической элементъ, въ которомъ при освѣщеніи возникаетъ электрическій разрядъ черезъ слой газа, или вообще какой-либо другой элементъ, въ которомъ при освѣщеніи возникаетъ измѣненіе проводимости или электродагательной силы. Кромѣ того, каждое зеркало снабжено электрическимъ приспособленіемъ, служащимъ для установленія синхронизма между вращеніемъ зеркала и измѣненіемъ магнитнаго или электрическаго поля на станціи полученія. Это приспособленіе состоитъ изъ реостата, сопротивленіе котораго мѣняется при скользяніи вдоль него щетокъ или контактовъ, прикрѣпленныхъ соотвѣтственно къ каждой

Первая страница описания патента «Способ электрической передачи изображений на расстояние» Б.Л. Розинга

будут отклоняться в сторону действующей силы, т.е. в первом случае вертикально, а во втором горизонтально» [2]. К.Ф. Браун сконструировал эту трубку в 1897 году; впоследствии многие исследователи пытались её модернизировать для получения развёртки колебательного процесса во времени. Такая же задача стояла и перед Б.Л. Розингом, который в 1902 году решил на практике проверить свою идею «электрической телескопии». Он применил простую осциллографическую трубку в приёмном устройстве системы передачи изображений. Сигналы на трубку поступали от передающего устройства, представлявшего собой электролитическую ванну с четырьмя электродами, соединёнными с отклоняющими катушками трубки. Роль светового луча выполнял металлический стержень, перемещаемый по слою электролита в ванне. Движение электронного пучка по экрану трубки повторяло все движения металлического стержня, и светящееся пятно на экране вычерчивало вензеля, буквы и другие фигуры. Однако такую систему ещё нельзя было считать телевизионной, поскольку она не была пригодна для передачи и воспроизведения движущихся изображений с различной яркостью отдельных элементов (полутонных изображений). И Розинг нашёл способ модуляции интенсивности электронного пучка трубки, т.е. изменения количества электронов, попадающих на экран в соответствии с изменением яркости элементов передаваемого изображения. Этим он превратил осциллографическую трубку в телевизионную – прообраз современного кинескопа. Так было создано безынерционное приёмное устройство телевизионной системы.

25 июля 1907 года Б.Л. Розинг подал заявку на патент под названием «Способ электрической передачи изображений на расстояние». Этот факт был официально зафиксирован охранным свидетельством № 33075. По данной заявке ему был выдан патент (русская привилегия) № 18076.

В 1908 году он получает английский патент на изобретение, в 1909-м – германский патент.

22 мая (9 мая по старому стилю) 1911 года с помощью приёмной электронно-лучевой трубки Б.Л. Розинг получает отчётливое изображение, состоящее из четырёх светлых полос. Так впервые в мире им была продемонстрирована действующая телевизионная система.



Приёмная телевизионная трубка Б.Л. Розинга

Выдержки из автобиографии Б.Л. Розинга, написанной в 1926–1931 гг.

Я родился в 1869 году. Мой предок, Иван Розинг, служивший при Павле, происходит, как это видно из формулярного списка, из «аптекарьских детей». Так как аптекарскими детьми назывались в те времена потомки тех химиков, минерологов и других учёных-иностранцев, которые были приглашены Петром I в Россию для развития науки и техники, то я вижу в этом своём происхождении некоторое объяснение того стремления и тяги к точным наукам, которое непрерывно чувствовал в себе со своего раннего возраста. Мой отец, не получивший специального математического образования, был очень вдумчивым человеком и до самой старости интересовался математикой и механикой и занимался изобретением точных часов, летательной машины и пр. Он-то и сообщил мне первые сведения из этих наук.

Своё среднее образование я получил в классической гимназии. Следовательно, получил так называемое гуманитарное образование, которое, хотя непосредственно и не касается изобретательской деятельности, тем не менее развивает в человеке способность мыслить образами, что, по моему мнению, весьма способствует развитию изобретательской фантазии.

Все эти мелкие сведения я сообщаю, так сказать, в назидание молодым людям-изобретателям, так как из личного опыта убедился, что для успешной работы изобретатель должен обладать следующими главнейшими качествами: 1) хорошей подготовкой в области физико-математических наук; 2) большим воображением; 3) независимостью суждений и способностью необескураживаться никакими неудачами и 4) склонностью к уединённой и напряжённой работе.

Центральной моей работой являлась работа над проблемой электрического телескопа. Эти опыты заняли 30-летний промежуток времени с перерывами. Подробнее история этого изобретения изложена мною в моей брошюре «Задачи и достижения электрической телескопии» (изд. Academia, 1923 г.). Именно когда я стал выводить на отправленной станции по дну ванны металлическим карандашом буквы, то пятно трубки Брауна ясным образом воспроизводило изображения на экране. Но таким образом осуществлялась собственно возможность передачи не световых изображений, а письма на расстоянии вроде телеграфа. Не будучи удовлетворён на основании произведённых опытов селеновыми элементами, я решил прибегнуть к калиевым фотоэлементам Эльстара и Гейтеля, которые тогда только появились. Для взаимодействия же световых лучей от отдельных частей передаваемого предмета на общий фотоэлемент мною была применена двойная система многогранных вращающихся зеркал. Таким образом и появился основной способ электрической телескопии с трубкой Брауна в качестве приёмника, который был опубликован во многих журналах и запатентован мною в Германии и других странах в 1907 г.

Первый прибор для телескопии с катодным приёмником был мною построен в 1910 году. Однако я скоро изменил его устройство. Первые результаты от него в этом новом виде были получены 9 мая 1911 г. Их я показывал ряду петербургских физиков. Из них некоторые здравствуют до сих пор: проф. В.К. Лебединский, В.Ф. Миткевич, С.М. Покровский. Однако они сводились к передаче примитивных сигналов в виде ряда точек или простых линий. Тем не менее дорога, казалось, была... Я тогда и не подозревал, сколько серьёзных, иногда обескураживающих препятствий она в себе таила. После весьма серьёзной переработки была построена 2-я модель, давшая более тонкие результаты. Ободёрный ими, я построил новую, 3-ю модель, причём много было продумано и частью испытано до схем усиления действия фотоэлементов. Но здесь возникла война, и опыты по телевидению были прерваны на несколько лет. Только теперь получилась возможность продолжить и благополучно закончить.

При этих опытах и при других я руководствовался, между прочим, следующим правилом: никогда не останавливаться перед встретившимися препятствиями и бороться или устранить их или, если это невозможно, изменить применяемый способ так, чтобы препятствующий фактор превратился бы в положительную силу, способствующую работе. Иногда это последнее удавалось.

Класс 21 а, 11



№ 8433 W

21.01.12

ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

ОПИСАНИЕ

катодного осциллографа.

К патенту Б. П. Грабовского, заявленному 17 ноября 1926 года
(заяв. свид. № 14102).О выдаче патента опубликовано 30 марта 1929 года. Действие патента
распространяется на 15 лет от 30 марта 1929 года.

Предлагаемое изобретение касается катодного осциллографа с применением пустотной трубки, снабженной катушкой, предназначенной для сжатия катодного пучка, двумя, расположенными в перпендикулярном направлении, конденсаторами для управления катодным пучком и экраном.

Катодный осциллограф, изображенный на чертеже, состоит из стеклянной пустотной трубки, конец которой снабжается металлическим цоколем 1 на шеллаке 2. Алюминиевая капсула 4, содержащая соль радия, закладывается в заделанный, в свою очередь, в ножку 3 трубки патрон 6. Последний изготовляется из непроницаемого для β лучей материала (напр., из стали, свинца или платины) и снабжается трубкой 7, проходящей через стеклянную перегородку 8, для прохождения этих лучей лишь в направлении оси трубки. Катушка 15 предназначена для сжатия катодного пучка, а два расположенных в двух взаимно-перпендикулярных направлениях конденсатора 9 и 10 — для управления катодным пучком. Слюдяной экран 13, покрытый слоем фосфоресцирующего вещества, под-

держивается двумя стеклянными стойками 14.

Поток электронов, проникающий сквозь алюминиевую капсулу, направляется трубкой 7 в пустотную трубку, где он сжимается катушкой 15. Конденсаторы 9 и 10 отклоняют поток электронов и это отклонение можно наблюдать на экране.

Предмет патента.

Катодный осциллограф с применением пустотной трубки, снабженной катушкой, предназначенной для сжатия катодного пучка, двумя, расположенными по двум взаимно-перпендикулярным направлениям, конденсаторами для управления катодным пучком, и экраном, характеризующийся тем, что для получения катодного пучка применено некоторое количество соли радия, помещенное в алюминиевую капсулу 4, каковая капсула 4, в свою очередь, заключена в заделанный в ножку 3 трубки патрон 6, изготовленный из непроницаемого для β лучей материала и снабженный трубкой 7, проходящей через перегородку 8 для пропуска этих лучей лишь в направлении оси трубки.

Патент на электронный осциллограф Б.П. Грабовского

К этим работам Розинг в 1910 году привлёк студента третьего курса Технологического института Владимира Зворыкина, будущего учёного и изобретателя с мировым именем.

В 1912 году Русское техническое общество присудило Б.Л. Розингу золотую медаль и премию им. К.Ф. Сименса (почётного члена общества) за выдающиеся изобретения, усовершенствования и исследования в области электричества.

На изобретение Розинга откликнулись многие зарубежные периодические издания. Так, в Германии в статье Э. Румера «Замечательный шаг вперёд в области дальновидения (телевизор Розинга)» отмечалось: «Электрический телескоп профессора Розинга из Петербургского технологического института знаменует собой поистине огром-

ный успех и, бесспорно, приближает окончательное практическое решение проблемы» [3]. Американский инженер Р. Гримшау в «Scientific American» писал: «Как показали эксперименты профессора Розинга и как можно было ожидать на основании всего, что известно о катодных лучах, эта форма электрической телескопии обеспечила результаты, которых нельзя добиться при помощи какой-либо аппаратуры с использованием механического движения на приёмной станции» [4].

В 1923 году Розинг издал книгу «Электрическая телескопия (видение на расстоянии). Ближайшие задачи и достижения», где подвёл итоги 25-летней работы в области телевидения: «Видеть что-либо скрытое от глаз вследствие большого расстояния или других препятствий составляло всегда мечту чело-

вечества». И далее: «Несомненно, наступит, наконец, такое время, когда электрическая телескопия распространится повсеместно и станет столь же необходимым прибором, каким является в настоящее время телефон. Тогда миллионы таких приборов, таких „электрических глаз“ будут всесторонне обслуживать общественную и частную жизнь, науку, технику и промышленность <...> Нам откроются и тайны богатства большей части поверхности нашей планеты, которая до сих пор скрыта под покрывающей её водой <...> Можно будет проникнуть таким же образом в расселины гор и потухшие вулканы и заглянуть внутрь твёрдой оболочки Земли. Врач будет в состоянии пользоваться таким электрическим глазом при исследовании внутренностей больного, находясь далеко от него. Инженер, не выходя из своего кабинета, будет видеть всё, что делается в мастерских, в складах, на работах» [5]. Эта книга с таким ярким предвидением будущего телевидения была написана Розингом, когда он находился в Краснодаре. Но уже в 1923 году он возобновил работу в Технологическом и электротехническом институтах Ленинграда. В 1924–1928 годах Розинг усовершенствовал элементы своей электронной системы телевидения, что нашло отражение в его изобретениях.

Необходимо отметить, что в эти годы, работая в качестве эксперта Комитета по делам изобретений, Розинг дал «путёвку в жизнь» многим отечественным изобретениям.

Изобретатель Б.П. Грабовский заслужил особое внимание Розинга. Это именно тот человек, который увидел в книге американского писателя Митчела Уилсона «Брат мой, враг мой» выдержки из своих дневниковых записей, сделанных при работе над созданием приёмопередающей установки «Телефот» [6]. 26 июля 1928 года с помощью этой установки электронным путём было передано и принято движимое изображение. Авторы изобретения – первого полностью электронного телевидения в СССР – Б.П. Грабовский, В.И. Попов и Н.Г. Пискунов. Это изобретение было, по совету Б.Л. Розинга, запатентовано в Комитете по делам изобретений СССР под № 5592 с приоритетом от 9 ноября 1925 года. На обеих станциях – передающей и приёмной – применялись электронно-лучевые трубки.

Б.П. Грабовский вспоминал: «По совету профессора Б.Л. Розинга, который

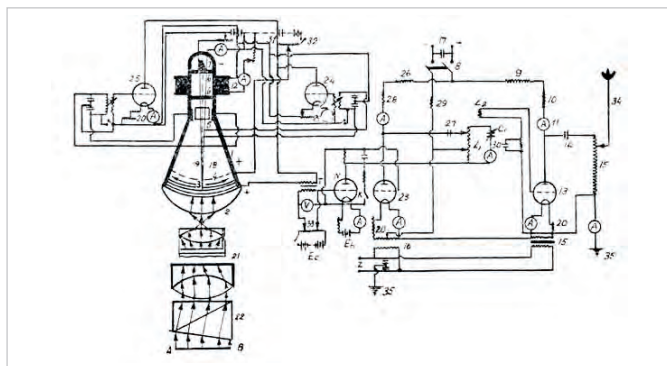


Схема приёмника электронной системы «Телефот»

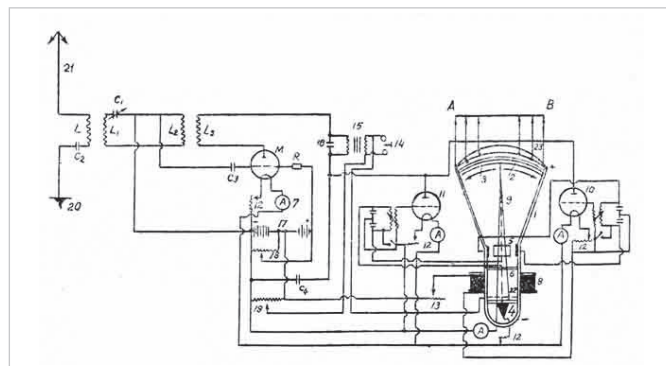


Схема передатчика электронной системы «Телефот»

вообще оказывал нам большую помощь, как организационную, так и путём научных консультаций, была произведена проверка нами предложенного технического решения. Однако из-за организационных неувязок экспериментальные работы на заводе „Светлана“ прекратились, несмотря на резкие возражения Розинга. После годичного перерыва, в 1927 году, на заводе „Светлана“ были изготовлены новые трубки. Передающая трубка была со сплошным тонким фотослоем, нанесённым на прозрачную стенку колбы, на одну сторону которого воздействовал световой поток, а на другой осуществлялась коммутация электронного рельефа с электростатическим отклонением луча и магнитной фокусировкой. В приёмнике телевизионных сигналов была применена несколько видоизменённая электронно-лучевая трубка Розинга. Приёмник включал в себя входные цепи, детекторно-усилительную лампу генератора горизонтальной и вертикальной развёрток. В силу различных организационно-технических и материальных причин окончательный монтаж электронных установок и их испытание удалось провести только в июле 1928 года в Ташкенте, на испытательной станции Среднеазиатского округа связи. Передающая аппаратура была установлена в главном здании Управления связи, а приёмная аппаратура была установлена во дворе Управления, во флигеле, где помещалась научно-испытательная станция, примерно метрах в 20 друг от друга. Я находился у приёмника, мой помощник И.Ф. Белянский – у передатчика. Ровно в 12 часов дня 26 июня 1928 года по ташкентскому времени были включены передатчик и приёмник. Перед объективом передатчика стоял мой лаборант И.Ф. Белянский. Его движимое изображение появилось на экране электронно-лучевой трубки приём-

ника. Изображение было некачественным, но всё же можно было временами различить, что это был мой лаборант Белянский. Через несколько дней, а именно 4 августа 1928 года, наши приборы были установлены на улице, и во время удачных моментов работы установок был схвачен кинокамерой движущийся трамвай. Конечно, изображения были некачественными, установки были кустарные, самодельные, но всё же первые опыты были проделаны мною с Белянским у нас, в СССР, в частности в Ташкенте, в 1928 году. В этом же году был выдан советский патент № 5592 и в том же году испытана установка, о чём свидетельствуют живые люди и подтверждают документы. Мне лично неизвестно такого юридического факта, который бы свидетельствовал об опытах по электронному телевидению до 26 июля 1928 года, поэтому я и заявляю о первенстве за СССР вообще, и в частности за мной и моими коллегами» [7].

Профессор С.И. Катаев, крупный советский учёный в области телевидения, в 1931 году подал авторскую заявку на свой вариант передающей телевизионной трубки с накоплением зарядов и мозаичной мишенью. Авторское свидетельство было опубликовано 30 апреля 1933 года. В передающей трубке, предложенной С.И. Катаевым на основе разработанной им теории её работы, впервые в мире использовалось явление вторичных электронов. Катаеву принадлежит также такая выдающаяся идея, как телевизионный стандарт на 625 строк, принятый в СССР. 26 июля 1968 года в связи с 40-летием показа первого движущегося телевизионного изображения им была отправлена телеграмма, в которой, в частности, говорилось: «Радует внимание к вопросам электронного телевидения и памяти энтузиастов этого вида связи. Поздравляю участников собрания с 60-летием присуждения Розингу пер-

вого патента на электронно-лучевую систему изобретённого им телевизионного аппарата, 40-летием отважной попытки реализации в Ташкенте электронной телевизионной системы энтузиастом-изобретателем Грабовским и 30-летием со времени пуска первого в Советском Союзе телевизионного центра. С глубоким уважением. Катаев».

Казалось бы, всё у Розинга в 20-е годы складывалось хорошо, но наступили 30-е, когда многие представители старой интеллигенции (учёные, писатели, артисты) подверглись репрессиям. Не избежал этой участи и Б.Л. Розинг. В апреле 1931 года по решению выездной сессии коллегии ОГПУ он был выслан в северные районы страны за финансовую поддержку незарегистрированной кассы взаимопомощи бывших белогвардейских офицеров. Как пишут В.И. Блинов и В.А. Урвалов, «эта поддержка заключалась в том, что как-то раз он передал через коллег деньги, по их словам, очень нуждавшемуся офицеру царской армии, бывшему преподавателю Константиновского артиллерийского училища. Подписной листок попал в руки следственных органов и послужил поводом для осуждения Б.Л. Розинга» [8]. Находясь сначала в Котласе, а затем в Архангельске, Розинг не прекращал своих исследований в области телевидения. Об этом свидетельствуют изобретения, сделанные им в начале 30-х годов, например «Способ превращения световых сигналов в электрические и звуковые колебания» [9]. С 1931 года и до конца жизни Розинг работал в физической лаборатории Лесотехнического института Архангельска. Этот последний период его жизни был самым тяжёлым: он испытывал трудности с жильём, питанием, работой. Но, несмотря на это, он не прекращал заниматься научной деятельностью.



Первый отечественный серийный электронный телевизор ТК-1

20 апреля 1933 года Б.Л. Розинг скончался от кровоизлияния в мозг и был похоронен на местном кладбище.

О ПЕРВЫХ РЕГУЛЯРНЫХ ПЕРЕДАЧАХ ЭЛЕКТРОННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ В СССР

Считается, что с 1 октября 1931 года начались регулярные телевизионные передачи в СССР, однако это было механическое телевидение и работало оно в диапазоне средних волн. Вот что писала газета «Известия» по поводу запуска телевидения: «С 1 октября 1931 г. в Москве впервые в СССР начинаются регулярные передачи движущихся изображений (телевидения) по радио. Передачи организованы Московским радиовещательным узлом НКПиТ под руководством ВЭИ и будут происходить через радиостанцию МОСПС (волна 379 м) ежедневно с 24:00 до 0:30 мин». Приём механического телевидения осуществлялся на первый советский телевизор Б-2 с диском Нипкова. Окончательный переход от механического телевидения к электронному был ознаменован созданием нового телецентра на Шаболовке в 1939 году. Кроме того, был освоен серийный выпуск электронных телевизоров ТК-1, которые пришли на смену механическим телевизорам Б-2, производившимся на том же Ленинградском радиозаводе им. Козицкого. В ТК-1 использовался кинескоп, установленный вертикально из-за сво-

ей большой длины, при этом изображение размером 14×18 см воспроизводилось с помощью зеркала. Конструкция ТК-1 в целом была намного сложнее, чем у механического Б-2. Внутри телевизора располагались 33 радиолампы. Он был выполнен по супергетеродинной схеме, работал в диапазоне ультракоротких волн 7,5...3,57 м. Изображение раскладывалось на 343 строки при 25 кадрах/с. Потребляемая мощность – 400 Вт. Корпус ТК-1 был полностью выполнен из дерева и предназначался для установки на пол.

Важнейшее значение в довоенные годы имели следующие изобретения советских учёных и инженеров: первая в СССР полностью электронная система телевидения (Б.П. Грабовский, 1925 год); первый советский иконоскоп (С.И. Катаев, 1931 год), разработанный в лаборатории НИИ телемеханики (Ленинград) в 1934 году главным конструктором Б.В. Круссером; первая трубка типа супериконоскоп – «трубка Шмакова – Тимофеева» (П.В. Шмаков и П.В. Тимофеев, 1933 год), изготовленная в 1937 году Б.В. Круссером (главный конструктор), Н.М. Романовой, И.Ф. Песьянским (трубки этого типа имели более высокую чувствительность и позволили снизить требуемую освещённость в студиях телецентров в 2 раза); статикон – «трубка Брауде» (Г.В. Брауде, 1934 год), использовавшая оригинальный принцип считывания информации при передаче кинофильмов в телевизионной системе с построчной (прогрессивной) развёрткой. Все эти изобретения привели к тому, что 2 февраля 1935 года в Ленинградском НИИ телемеханики был создан первый экспериментальный электронный передающий студийный комплекс с разложением на 180 строк, 25 кадров/с с построчной (прогрессивной) развёрткой. Комплекс функционировал в институте, изготовлен был полностью на отечественных узлах и деталях. Руководителем работ являлся Я.А. Рыфтин [6]. Премьера электронного телевидения с разложением изображения на 343 строки при 25 кадрах/с состоялась в Москве на Шаболовке 10 марта 1939 года. Это была регулярная телепередача с показом документального фильма об открытии XVIII съезда ВКП(б).

Находясь после революции в США, успешно продолжил там дело Б.Л. Розинга Владимир Козьмич Зворыкин. При этом контактов со своим учите-

лем он не поддерживал, и даже находясь в 1933 году с визитом в СССР как представитель компании RCA по вопросам заключения соглашения о поставках радиоаппаратуры, в том числе для оснащения телецентра в Москве, он не проявил стремления встретиться с Розингом. В США в это время свирепствовал экономический кризис, который стал одной из причин официального признания СССР Соединёнными Штатами. Америка нуждалась в крупных зарубежных заказах, а СССР – в высокотехнологичной американской продукции. Именно поэтому в Ленинграде и Москве Зворыкина принимали сотрудники Наркомата радио промышленности. В Ленинграде Зворыкин пробыл неделю, посетив завод «Светлана», Центральную радиолaborаторию и НИИ телемеханики. В Москве у него состоялась встреча с наркомом почт и телеграфа СССР А.И. Рыковым по вопросам поставки американского оборудования для телевизионного центра. «Конечно, я спрашивал о профессоре Розинге, – написал Владимир Козьмич в мемуарах [10], – но большинство людей, которых я спросил, никогда не слышали о нём». На самом деле Б.Л. Розинг скончался всего лишь за несколько месяцев до приезда Зворыкина в СССР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успехи, которых добилось отечественное телевидение начиная с послевоенных лет, неразрывно связаны с именем, к сожалению, ушедшего от нас в 2018 году патриарха отечественного и мирового телевидения Марка Иосифовича Кривошеева. В июле 2018 года ему исполнилось 96 лет, но он продолжал активно трудиться. Последний его проект был реализован в мае прошлого года, когда в одном из съёмочных павильонов телецентра «Останкино» открылась выставка, посвящённая профессиональному пути этого советского и российского учёного. Его имя известно на весь мир, в телевизионной среде он пользуется огромным уважением. М.И. Кривошеев (1922–2018) – советский и российский учёный, входящий в плеяду создателей современного мирового телевидения, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Всю свою жизнь он занимался организацией телевидения и стал одним из тех, кто привёл его к нынешнему единому стандарту – «цифре».

В строительстве павильона, где открылась выставка, Кривошеев участвовал сам. В экспозиции был отражён весь его путь. Первый телевизионный эфир после войны, телерепортаж о встрече после полёта первого человека в космос, трансляции Олимпиады-1980 – всё это его заслуги. В 2015 году он получил высшую награду Международного союза электросвязи «За улучшение жизни людей на планете». Среди награждённых также были основатель Microsoft Билл Гейтс, отец интернета Роберт Кан, создатель мобильного телефона Мартин Купер. «Наша страна является лидером технологии телевидения, причём это доказано не словами, а документами», – таково весомое мнение Марка Кривошеева. На открытии Международной научно-технической конференции, посвящённой Дню радио, в конгресс-центре МТУСИ на пленарном заседании выступил М.И. Кривошеев с докладом «К 70-летию международной стандартизации в области телевизионного вещания» [11].

В 1865 году был основан Международный телеграфный союз, с 1932 года – Международный союз электросвязи (МСЭ, ИТУ). Длительное время СССР, а затем и Россию в этой организации представлял Марк Иосифович Кривошеев. На протяжении многих лет он возглавлял 11-ю комиссию (SG11) МСЭ,

став её почетным членом. МСЭ является специализированным учреждением Организации Объединённых Наций в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), которое распределяет спутниковые орбиты и радиочастотный спектр в глобальном масштабе, а также разрабатывает технические стандарты, обеспечивающие возможность эффективного присоединения сетей и технологий во всём мире.

В докладе М.И. Кривошеева были упомянуты такие технологии, как виртуальное телевидение с глубоким аудиопогружением, так называемое интерактивное телевидение, телевизионное 3D-вещание с индивидуализацией контента и интеграцией технологий телевизионного вещания и интернета.

Марк Иосифович Кривошеев внёс бесценный вклад в развитие отечественного и мирового телевидения, посвятив свой профессиональный путь воплощению в жизнь заветов и предвидений основоположника электронного телевидения Бориса Львовича Розинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горохов П.К.* Борис Львович Розинг – основоположник электронного телевидения. – М.: Госэнергоиздат, 1959.

2. *Рожанский Д.А.* Электрические лучи: учение об электромагнитных колебаниях и волнах. – СПб.: К.Л. Риккер, 1913.
3. *Rubmer E.* Ein bedeutsamer Fortschritt im Fernsehproblem (Der Rosingsche Fernseher). Die Umschau. № 25. 1911. S. 508–510.
4. *Grimschau R.* The Telegraphic Eye. Scientific American. v. 104, № 13. 1911. p. 335–336.
5. *Розинг Б.Л.* Электрическая телескопия (видение на расстоянии). Ближайшие задачи и достижения. – Петроград: Academia, 1923.
6. *Бартенев В.Г.* Россия – родина радио. Исторические очерки. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014.
7. *Грабовский Б.П.* Материалы по телевизионной установке «Телефот». ЦГА УзССР, ф. Р-2562, оп. 3, д. 80, л. 28–29. Подлинник.
8. *Блинов В.И., Урвалов В.А.* Б.Л. Розинг. – М.: Просвещение, 1991.
9. *Розинг Б.Л.* Способ превращения световых сигналов в электрические и звуковые колебания. Авторское свидетельство на изобретение № 2 28533, заявлено 4 февраля 1931 г.
10. *Зворыкин В.* Мемуары изобретателя телевидения: <https://www.litmir.me/br/?b=285674&p=1>
11. *Кривошеев М.И.* К 70-летию международной стандартизации в области телевизионного вещания. Доклады Международной конференции REDS-2017 – М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2017.



НОВОСТИ МИРА

«РОСЭЛЕКТРОНИКА» ВПЕРВЫЕ НА «СВЯЗИ» ПРЕДСТАВИЛА ТЕРМИНАЛ ЭРА-ГЛОНАСС В НОВОМ ДИЗАЙНЕ

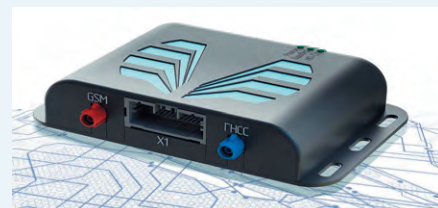
Холдинг «Росэлектроника» госкорпорации «Ростех» впервые представил в новом дизайне терминал ЭРА-ГЛОНАСС на выставке «Связь-2019». Российский навигационно-связной модуль может использоваться для экстренного оповещения в случае ДТП, для мониторинга перевозки скоропортящихся продуктов и медикаментов, для создания роботизированных агрокомплексов.

Разработка АО «НИИМА «Прогресс» (входит в «Росэлектронику») обеспечивает приём навигационной информации по 48 каналам от систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Устройство имеет интерфейсы для подключения к шине автомобиля, датчикам уровня жидкости, считывателям RFID, модулю точной навигации. Оборудование НИИМА «Прогресс» является полностью российской разработкой, что позволяет обеспечить высокий уровень защиты для доверенного обмена данными.

Для экстренного реагирования в случае ДТП терминал устанавливается на автотранспортное средство и при аварии автоматически оценивает направление и силу удара, а затем передаёт информацию диспетчеру экстренной службы АО «Глонасс», который может по громкой связи переговорить с водителем.

Оборудование способно отслеживать местоположение транспорта, перевозящего скоропортящиеся продукты и медикаменты, передавая навигационную информацию в телематическую платформу АСМ ЭРА и другие телематические платформы. Терминал ЭРА-ГЛОНАСС может стать частью систем цифрового земледелия, позволяя обеспечить управление и контроль за всей агропромышленной инфраструктурой. Также аппаратура может применяться для предотвращения несанкционированной вырубки лесов, сигнализируя операторам диспетчерских центров о въезде автотранспортного средства в природоохранную зону.

«Терминал ЭРА-ГЛОНАСС позволяет обеспечить постоянный мониторинг и прослеживаемость объектов цифровой инфраструк-



туры для безопасности и оказания экстренной помощи практически в любых сферах жизни, – рассказал директор по продажам и маркетингу НИИМА «Прогресс» Виктор Юров. – Только в одном автопроме, по нашим оценкам, всего около 6% автомобилей в России оборудованы терминалами ЭРА-ГЛОНАСС. Таким образом, по дорогам страны передвигается порядка 50 млн автотранспортных средств, не оснащённых системой экстренного реагирования при авариях».

В 2018 году терминал ЭРА-ГЛОНАСС занял первое место в номинации «Лучшее изделие электронной компонентной базы» премии «Золотой чип».

Пресс-служба холдинга
«Росэлектроника»



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

2019

100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ



ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки

- Модификация КД существующего изделия
- Разработка спецвычислителя на базе COM-модуля
- Конфигурирование модульного корпусированного изделия
- Сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика
- Разработка изделия с нуля



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Контрактная сборка электроники уровней: модуль / узел / блок / шкаф / комплекс

- ОКР, технологические консультации и согласования
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Полное комплектование производства импортными и отечественными компонентами и материалами
- Поддержание складов, своевременное анонсирование снятия с производства, подбор аналогов
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания по методикам и ТУ
- Гарантийный и постгарантийный сервис



ПАТРОНАЖ ТПП РФ

17-19

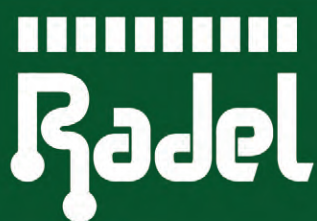
СЕНТЯБРЯ 2019

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



powered by
productronica



ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА

- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ОРГАНИЗАТОР МЕЖДУНАРОДНОГО ПАВИЛЬОНА:



ООО «Мессе Мюнхен Рус»

Messe München

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



radelexpo.ru

(812) 777-04-07



R&S®FSWP

Полностью сертифицированное решение

R&S FSWP – это решение для прецизионного измерения фазового шума сертифицированное в РФ с гарантированной спецификацией по чувствительности в непрерывном и импульсном режимах. Прибор является уникальным моноблочным решением сочетающим в себе комплекс средств по тестированию шумовых параметров СВЧ компонентов и систем.



ГОСРЕЕСТР
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ



Хотите узнать, как без проблем провести приёмо-сдаточные испытания?



Реклама



ROHDE & SCHWARZ