

ЭЛЕКТРОНИКА

НАУКА
ТЕХНОЛОГИЯ
БИЗНЕС

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ОБОРУДОВАНИЕ

В фокусе: Контрактное производство

Контрактное производство ИС: ведущие мировые кремниевые заводы расширяют мощности. Часть 1

Модернизация оборудования в «А-КОНТРАКТ»

Колонка Департамента радиоэлектронной промышленности

XX Отраслевая научно-техническая конференция радиоэлектронной промышленности пройдет с 16 по 18 марта 2022 года

Репортажи и события

Заседание в Совете Федерации по совершенствованию законодательства о поддержке отечественных производителей промышленной продукции

Совместное заседание предприятий ГК «Росатом» и Секции № 9 МРГ при коллегии ВПК РФ

Конференция АРПЭ «Контрактная разработка электроники»

История успеха

Внедрение интеллектуальных решений на контрактном производстве «Райт Электроникс»

Технологии и решения

Возможности «ПСБ технологии» по изготовлению многослойных печатных плат

Особенности реализации метода цифровых предсказаний в системах радиосвязи ММ-диапазона

Структура, характеристики и возможные применения микроконтроллера «Комдив-МК»

Анализ методов расчета эксплуатационной интенсивности отказов БИС

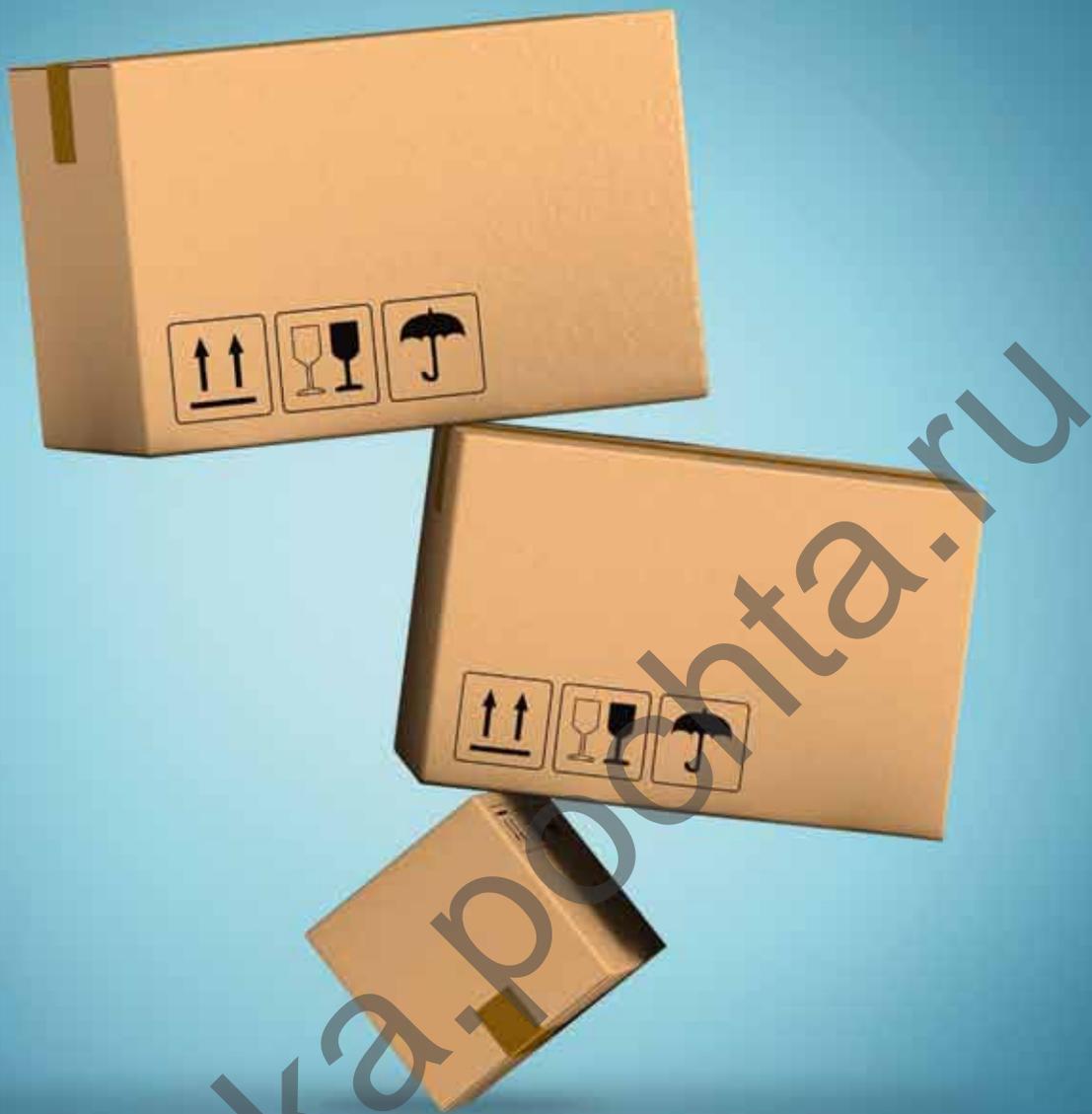
Тестопригодное проектирование в компании Остек

**Чтобы оставаться лидером,
необходимо постоянно
совершенствоваться**

Рассказывает генеральный директор АО «Плутон»
Владимир Александрович Мельников

Премия

Electronica / с. 44



С ТРИ КОРОБА НЕ ОБЕЩАЕМ, НО БОЛЬШОЙ СКЛАД МАТЕРИАЛОВ ЕСТЬ

У нас собственный склад технологических материалов для производства электроники и микроэлектроники. Склад обеспечивает четыре температурных диапазона хранения от -40 до $+20$ °C, хранение продукции шести классов опасности по ADR, все необходимые условия для хранения прекурсоров и материалов с повышенным содержанием драгоценных металлов. Мы строго контролируем сроки годности и внимательно следим за тем, чтобы на складе поддерживался стабильный запас основных технологических материалов.

Чтобы у вашего производства не было простоев,
а у вас — проблем.

> 50 тонн

материалов
всегда в наличии

> 100

типов материалов
в складской программе

> 50 м³

для хранения материалов
при специальных
температурных условиях

ASM MATERIAL TOWER 2

новое поколение автоматизированных систем хранения компонентов



Глобал Инжиниринг

+7 (495) 980-0819
www.global-SMT.ru

- ёмкость системы: 980 катушек в одной башне
- любой тип тары: катушки, JEDEC, пеналы, картриджи с россыпью
- групповая загрузка/выгрузка: до 40 штук
- поддержка AVI
- полная интеграция с ASM Works
- масштабирование за счёт объединения нескольких шкафов в одну систему

ODU MEDI-SNAP®

ГИБКОЕ РЕШЕНИЕ В РАЗМЕРЕ 3.5



**ОПЦИОНАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАМЕНЫ ЖИДКОСТНОЙ ВСТАВКИ
НА КООКСИАЛЬНУЮ ИЛИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКУЮ**

- ✦ Push-pull защёлка
- + 2 000 циклов соединений
- + IP50/IP67 в сомкнутом состоянии
- + Кабельная вилка в 23 мм
- + Кабель в 4,6...10,5 мм
- + Рабочая температура: от -50 до 120 °C
- + Пайка проводом
- + Контактные вставки:
 - 41 контакт в 0,5 мм
 - 19 контактов:
 - 1 жидкостной до 4 бар
 - 18 контактов в 0,7 мм
- + Максимальная защита по IEC 60601-1: 2 MOPP, 2 MOOP
- + Корпус из PSU

www.odu.de
www.odu.ru
info@odu.ru
+7 495 967 9653
офис в Зеленограде



КОММУТАТОР ДВУХПОРТОВЫЙ для однопарного Ethernet стандарта 10BASE-T1L



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™



ОСОБЕННОСТИ:

- Длина линии до 1700 метров
- Встроенные 2 ядра физического уровня (PHY)
- Низкое энергопотребление 77 мВт
- Напряжение питания от 1,8 В до 3,3 В

ПРИМЕНЕНИЕ:

- Искробезопасное оборудование
- Датчики
- Автоматизация зданий и сооружений

COMPETENT OPINION

V. Melnikov
**IN ORDER TO REMAIN A LEADER,
 ONE MUST CONTINUOUSLY GET BETTER** 14

COLUMN OF DEPARTMENT OF RADIO-ELECTRONIC INDUSTRY

NEWS

RULES AND REGULATIONS

Yu. Kovalevsky
**ENHANCEMENT OF LEGISLATION ON SUPPORT
 FOR DOMESTIC INDUSTRIAL PRODUCERS**
 MEETING OF THE MILITARY AND INDUSTRIAL POLICY AND BUDGET
 SECTION OF THE EXPERT COUNCIL OF THE FEDERATION COUNCIL
 COMMITTEE ON DEFENSE AND SECURITY

EXHIBITIONS & CONFERENCES

V. Mironyuk
**JOINT SESSION OF ROSATOM'S COMPANIES
 AND INTERDEPARTMENTAL WORKING GROUP'S
 SECTION No. 9 OF THE BOARD OF MILITARY-INDUSTRIAL
 COMMISSION OF THE RUSSIAN FEDERATION** 38

R. Mangusheva
NEWS OF EXHIBITIONS AND "ELECTRONICA" AWARD 44

Yu. Kovalevsky
**CONTRACT DESIGN IN RUSSIA:
 HOW IT DEVELOPS AND WHAT HINDERS IT**
 "ELECTRONICS CONTRACT DESIGN" EDMA CONFERENCE

SUCCESS STORY

SMART FACTORY WHICH WORKS 52

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

В. Мельников
**ЧТОБЫ ОСТАВАТЬСЯ ЛИДЕРОМ,
 НЕОБХОДИМО ПОСТОЯННО СОВЕРШЕНСТВОВАТЬСЯ**

КОЛОНКА ДЕПАРТАМЕНТА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

НОВОСТИ

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Ю. Ковалевский
**34 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА О ПОДДЕРЖКЕ
 ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ
 ПРОДУКЦИИ**
 ЗАСЕДАНИЕ СЕКЦИИ ПО ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКЕ
 И БЮДЖЕТУ ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА ПРИ КОМИТЕТЕ СОВЕТА
 ФЕДЕРАЦИИ ПО ОБОРОНЕ И БЕЗОПАСНОСТИ

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

В. Миронюк
**38 СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ
 ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»
 И СЕКЦИИ № 9 МРГ ПРИ КОЛЛЕГИИ ВПК РФ**

Р. Мангушева
44 НОВОСТИ ВЫСТАВОК И ПРЕМИЯ ELECTRONICA

Ю. Ковалевский
**48 КОНТРАКТНАЯ РАЗРАБОТКА В РОССИИ: КАК ОНА
 РАЗВИВАЕТСЯ И ЧТО ЕЙ МЕШАЕТ**
 КОНФЕРЕНЦИЯ АРПЭ «КОНТРАКТНАЯ РАЗРАБОТКА
 ЭЛЕКТРОНИКИ»

ИСТОРИЯ УСПЕХА

52 УМНАЯ ФАБРИКА, КОТОРАЯ РАБОТАЕТ

ЭЛЕКТРОНИКА №1 (00212)

НАУКА • ТЕХНОЛОГИЯ • БИЗНЕС

«ЭЛЕКТРОНИКА: НАУКА, ТЕХНОЛОГИЯ, БИЗНЕС»
 Научно-технический журнал

Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ.

Журнал включен в Перечень ВАК 02.02.2016 г.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

На сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU

(www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей. Статьи из номеров журнала текущего года предоставляются на платной основе.

СВЕЖИЙ НОМЕР ЖУРНАЛА ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ

В редакции журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ»
 Москва, ул. Краснопролетарская, 16, стр. 2

В представительствах «Золотой Шар ТМ»

Санкт-Петербург Невский пр-т, 44, 5-й эт., оф. 6 | root@zolshar.spb.ru
 ☎ +7 812 325-7544, 117-68-62, 110-43-66

Екатеринбург ул. Народной воли, 25 | ekp@front.ru,
 zolshar@online.ural.ru, ☎ +7 343 212-18-10, 212-13-31 ☎ +7 343 212-23-14

Новосибирск пр-т К.Маркса, 57, офис 708 | nbzsh@mail.ru
 ☎ +7 3832 46-24-73 ☎ +7 3832 27-63-80

Минск пл. Казинца, 3, офис 456 | zolshar@integral.minsk.by
 ☎ +7 10 375-172 78-09-14

Ижевск ул. Софьи Ковалевской, 4а, офис 4 | office@zolshar.izhnet.ru
 ☎ +7 3412 42-52-41 ☎ +7 3412 42-54-72



Акционерное общество

ИРКУТСКИЙ РЕЛЕЙНЫЙ ЗАВОД

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ КОММУТАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

СОЕДИНИТЕЛИ РАДИОЧАСТОТНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ

Типы присоединительного размера:

- IX, вариант 1 и SMA в соответствии с ГОСТ РВ 51914-2002
- SMP по стандарту MIL-STD-348B, Fig. 326
Рабочий диапазон частот 18; 26,5 и 40 ГГц
Волновое сопротивление 50 Ом
Износостойкое покрытие золото-кобальт
Категория качества «ОТК» и «ВП»



ФИЛЬТРЫ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ

Номинальное волновое сопротивление: 50 Ом
Диапазон частот: 0,5...10 ГГц
Тангенс угла потерь, не более: 0,035
Рабочий диапазон температур: -60...+125 °С
Натекание (герметичность), не более: $1,3 \cdot 10^{-11}$ м³ Па·с⁻¹; $1 \cdot 10^{-7}$ л мкм рт.ст./с.
Номинальные напряжения: 50В, 100В, 200В;
Номинальная емкость: 27 пФ, 100 пФ, 510 пФ, 1000 пФ,
5100 пФ, 10000 пФ, 30000 пФ
Категория качества «ОТК» и «ВП»



СВЧ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОАКСИАЛЬНЫЙ

Двухстабильный, поляризованный, постоянного тока
Схема переключения - 2 положения, 2 направления (2П2Н / DPDT)
РЧ соединитель тип N, розетка ГОСТ РВ 51914
Диапазон рабочих частот от 0,01 до 12,4 ГГц;
Номинальное волновое сопротивление 50 Ом;
Максимальный КСВН 1,35:1;
Категория качества: «ОТК» (серийное производство)
и «ВП» (в стадии разработки)



664075, г. Иркутск, ул. Байкальская, 239
E-mail: marketing@irzirk.ru
Тел.: (3952) 35-23-18, факс: (3952) 24-57-45

www.irzirk.ru

ECONOMY + BUSINESS

M. Makushin

IC CONTRACT MANUFACTURING: THE WORLD'S LEADING SILICON FABRS ARE EXPANDING THEIR CAPACITIES

Part 1

Silicon fabs are increasingly becoming the backbone of the manufacturing base of the semiconductor industry, especially in the area of emerging process technologies. This business model is used by the world's largest microelectronic companies.

Keywords: silicon fab, fabless industry, TSMC, GlobalFoundries, SMIC, Samsung, Intel

MANUFACTURING EQUIPMENT AND PROCESS MATERIALS

S. Fedorov

NEW GENERATION OF EQUIPMENT IN "A-CONTRACT" PROVIDES MORE OPPORTUNITIES FOR CUSTOMERS

DESIGN SOLUTIONS

A. Chernyshov

MULTILAYER PRINTED CIRCUIT BOARDS FROM PSB TECHNOLOGIES

The article considers by several examples the achievements of PSB Technologies LLC in the creation of multilayer printed circuit boards. It was noted that the company's specialists provide the implementation of projects even with seemingly technically unfeasible requirements.

Keywords: printed circuit board, via, sequential pressing

ЭКОНОМИКА + БИЗНЕС

М. Макушин

58 КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИС: ВЕДУЩИЕ МИРОВЫЕ КРЕМНИЕВЫЕ ЗАВОДЫ РАСШИРЯЮТ МОЩНОСТИ

Часть 1

Кремниевые заводы все в большей мере становятся основой производственной базы полупроводниковой промышленности – особенно в сфере новейших и перспективных технологических процессов. Эту бизнес-модель используют крупнейшие мировые микроэлектронные фирмы.

Ключевые слова: кремниевый завод, fabless-индустрия, TSMC, GlobalFoundries, SMIC, Samsung, Intel

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

С. Фёдоров

68 НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В «А-КОНТРАКТ» – БОЛЬШЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ КЛИЕНТОВ

КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ

А. Чернышов

72 МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ КОМПАНИИ «ПСБ ТЕХНОЛОГИИ»

На нескольких примерах рассмотрены достижения ООО «ПСБ технологии» по созданию многослойных печатных плат. Отмечено, что специалисты компании обеспечивают реализацию проектов даже, казалось бы, с технически невыполнимыми требованиями.

Ключевые слова: печатная плата, переходное отверстие, последовательное прессование

ПОДПИСКА

По каталогу «Газеты и журналы агентства «РОСПЕЧАТЬ».

Индексы: 71775 – полугодовой индекс, 47299 – годовой индекс.

АО «МК-Периодика».

ООО «Урал-Пресс».

ООО «ИНФОРМНАУКА» – зарубежная подписка.

В редакции журнала:

☎ +7 495 234-01-10 (доб. 335)

✉ magazine@technosphera.ru

ПОДПИСАТЬСЯ НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ МОЖНО НА САЙТАХ

www.electronics.ru, elibrary.ru, www.e.lanbook.ru

APPLICATIONS FOR FOREIGN SUBSCRIBERS ARE ACCEPTED

by INFORMNAUKA Agency

☎ +7 495 787-38-73

www.informnauka.com | nikitina@viniti.ru

ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес © перерегистрирован

в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых

коммуникаций 7 сентября 2017 г., ПИ №ФС77-70995.

Журнал издается с 1996 года. С 2015 – 10 раз в год.

Номер сдан в печать 28 января 2022 г.

Отпечатано в ООО «Юнион Принт», г. Н.Новгород,

ул. Окский съезд, д. 2. Номер заказа 220114.

Тираж 7000 экз. Цена договорная.

© При перепечатке ссылка на журнал «ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ»

обязательна. Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей. Рукописи рецензируются, но не возвращаются.

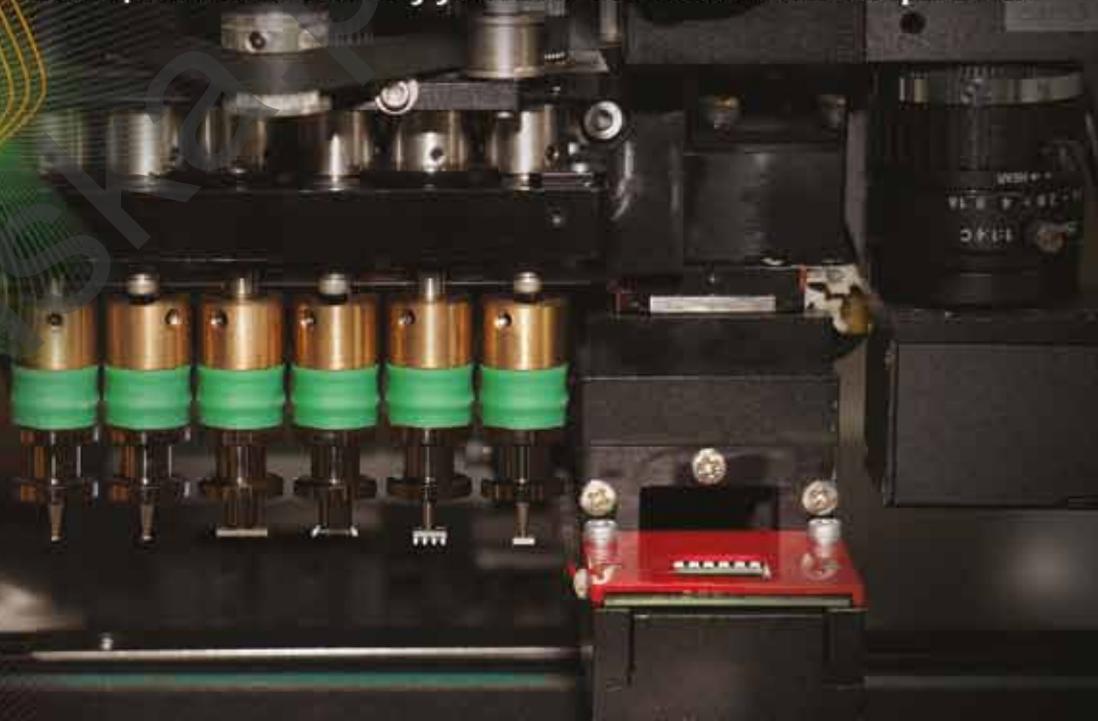
Аннотации и ключевые слова статей на русском и английском языках приведены на сайте www.electronics.ru. Срок рассмотрения рукописей – 5 недель.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

**ДОСТУПНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

**НОВЫЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ
БЮДЖЕТНЫЙ АВТОМАТ
ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА**

- производительность 20000 компонентов/час
- максимальные габариты печатной платы 650x440 мм
- подача компонентов из технологической тары и россыпью
- оптическая система центрирования в монтажной голове
- специальные вакуумные захваты из тефлона



AUTOTRONIK BA889P6V
Fertigungssysteme für die Elektronikindustrie

115191, Москва, 3-я Рощинская улица, дом 5

Тел.: +7 (495) 545-4292

E-mail: info@clever.ru

CAD / CAE

K. Felton, D. Vertyanov, S. Evstafiev, V. Sidorenko
THE NEXT GENERATION OF IC PACKAGING SOLUTIONS 80
 Part 3

The article considers the scalability and wide functionality necessary for the development of IC complex packages. It discusses the requirements for the transfer of the project to production that is the conditions for providing error-free production data for manufacturing and assembly.

Keywords: multichip assembly, design kit, design flow, verification

TEST AND MEASUREMENT

A. Voronin, I. Kudryashov
TEST AND CALIBRATION SYSTEMS FOR THE READOUT 86
ELECTRONICS OF SILICON DETECTORS
 Part 1

The article discusses the main issues related to the testing and calibration of the readout electronics of silicon detectors for experiments in the field of high energy physics and cosmic ray physics, the design concept and structural solutions for test systems and hardware-software complexes for readout electronics.

Keywords: silicon detector, readout electronics, internal calibration system, test board, probe station, hardware-software complex

СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

К. Фелтон, Д. Вертянов, С. Евстафьев, В. Сидоренко
НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ ДЛЯ КОРПУСИРОВАНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Часть 3

Рассматриваются масштабируемость и широкий функционал, необходимый для разработки сложных корпусов ИС. Обсуждаются требования к передаче проекта на производство, то есть условия предоставления безошибочных производственных данных по изготовлению и сборке.

Ключевые слова: многокристальная сборка, комплект для проектирования, маршрут проектирования, верификация

КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЯ

А. Воронин, И. Кудряшов
ТЕСТОВЫЕ И КАЛИБРОВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ 86
СЧИТЫВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
 Часть 1

В статье обсуждаются основные вопросы, связанные с проведением тестирования и калибровкой считывающей электроники кремниевых детекторов для экспериментов в области физики высоких энергий и физики космических лучей, принципы построения и структурные решения для тестовых систем и аппаратно-программных комплексов для контроля СЭ.

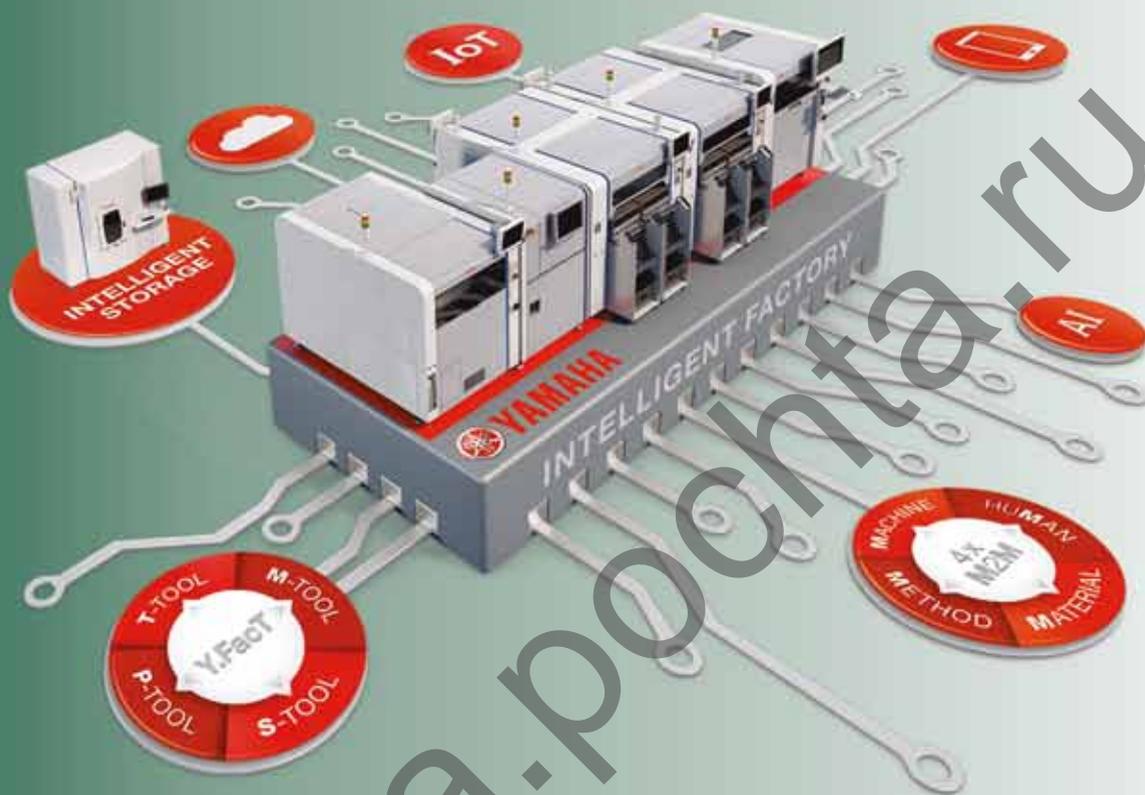
Ключевые слова: кремниевый детектор, считывающая электроника, внутренняя калибровочная система, тестовая плата, зондовая установка, аппаратно-программный комплекс

СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

AVD Systems	25	Группа компаний Остек	II обложка, 51	Промтехэкспо	37
ChipExpo	105	Золотой шар	вклейка	Радиокомп	29
Electronica, премия	47	ЗПП, г. Йошкар-Ола	145	Руднев-Шиляев	65
JARI	13	ИНЕЛСО	70	Связь	85
JTAG Technologies	95	Интеграл	78–79	СМП	61, 115
Keysight	27	ИРЗ	3	ТЕСТПРИБОР	11, 67
MeanWell	33	Клевер	5	ЭкспоЭлектроника	45
Microchip	31	Кулон	111	Элеконд	91
ODU	IV обложка	Микроволновые системы	113	ЭлектронТехЭкспо	71
PCB technology	9	Монолит	109	ЭЛТЕХ	1
Армия	20	Морион	32	Эркон, НПО	127
АссемРус	7	Планар (КБТЭМ-ОМО)	63	ЭСТО	93
Гириконд	23	Плутон	135		
Глобал Инжиниринг	III обложка	ПриСТ	125		



YAMAHA



УМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО **YAMAHA** ЭТО:

- Ассистент по качеству выпускаемой продукции
- Обратная связь с персоналом в реальном времени
- Оперативная диагностика дефектов при сборке
- Максимальная автоматизация всего процесса
- Контроль технического обслуживания оборудования
- Снижение нагрузки на рабочий персонал
- И много чего еще...

Пример внедрения на странице 52

АССЕМРУС

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ

RADIO SYSTEMS

H. Yektaii, P. Pratt, F. Kearney

IMPLEMENTATION FEATURES OF THE DIGITAL PRE-DISTORTION METHOD IN MM-WAVE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

The article discusses the architectural features of mm-wave and sub-6 GHz base stations. Particular emphasis is paid to the implementation of the digital pre-distortion (DPD) method in these systems, which enable to increase the effective isotropic radiated power (EIRP) and reduce the number of antenna array elements for the same target EIRP.

Keywords: 5G New Radio networks, base station, digital pre-distortion, millimeter wave frequencies, antenna array, effective isotropic radiated power, beamformer, frequency converter, frequency synthesizer

MICROWAVE ELECTRONICS

K. Dzhurinsky, A. Sotnikov

RF CONNECTOR POWER CAPABILITY. THE SELECTION CRITERIA

The article is devoted to the substantiation of the selection criteria for radio frequency connectors on the basis of reference data. The main attention is paid to the problem of choosing connectors with allowable power capability.

Keywords: RF connectors, power capability, frequency response

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Х. Йектаи, П. Прайт, Ф. Кирни

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ЦИФРОВЫХ ПРЕДЫСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ ММ-ДИАПАЗОНА

В статье обсуждаются архитектурные особенности базовых станций, работающих в мм-диапазоне длин волн и на частотах ниже 6 ГГц. Особое внимание уделено вопросам реализации метода цифровых предискажений (DPD) в этих системах, что позволяет повысить эффективную изотропную излучаемую мощность (EIRP) и сократить количество элементов антенной решетки.

Ключевые слова: сети 5G New Radio, базовая станция, цифровые предискажения, частоты миллиметрового диапазона, антенная решетка, эффективная изотропная излучаемая мощность, формирователь луча, преобразователь частоты, синтезатор частоты

СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА

К. Джурицкий, А. Сотников

ДОПУСТИМАЯ ПРОПУСКАЕМАЯ МОЩНОСТЬ РАДИОЧАСТОТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ. КРИТЕРИИ ВЫБОРА

Статья посвящена обоснованию критериев выбора радиочастотных соединителей на базе справочных материалов. Основное внимание уделено проблеме выбора соединителей с допустимой пропускаемой мощностью.

Ключевые слова: радиочастотные соединители, пропускаемая мощность, частотная зависимость

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ: Б. Бабаян, Ю. Борисов, П. Верник, В. Вишневецкий, С. Гамкрелидзе, Ю. Гуляев, Г. Красников, М. Критенко, П. Куцько, В. Лукичев, А. Переверзев, С. Портной, А. Сигов, В. Шахнов, В. Шпак, А. Якунин

ИЗДАТЕЛЬ И УЧРЕДИТЕЛЬ – РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР: О. Казанцева

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: А. Сигов

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: Ю. Ковалевский

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР: О. Разговорова

РЕДАКТОРЫ РАЗДЕЛОВ: В. Ежов, Н. Елисеев, И. Кокорева,

В. Мейлицев, В. Миронюк

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР: Л. Петрова

КОРРЕКТОР: А. Лужкова

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА: А. Небольсин

РЕКЛАМА

Директор по развитию: Г. Логинова | recntb@electronics.ru

Зам. директора по развитию: О. Лаврентьева | olesya200707@bk.ru

Менеджер по рекламе: Л. Карякина | rec-knigi@electronics.ru

ПОДПИСКА: Е. Зайкова | magazine@technosphera.ru

СБЫТ: А. Метлов | sales@electronics.ru

www.electronics.ru; elibrary.ru; www.e.lanbook.ru

АДРЕС РЕДАКЦИИ

Москва, ул. Краснопролетарская, 16, стр. 2

✉ 125319, Москва, а/я 91 | redactor@electronics.ru

☎ +7 495 234-0110 📠 +7 495 956-3346

ТЕХНОЛОГИЯ НАДЕЖНОСТИ

- ✓ Разработка печатных плат
- ✓ Изготовление печатных плат

Многолетний опыт работы по поставке сложных печатных плат позволяет нам гарантировать качество и надежность нашей продукции. Мы используем передовые технологии и способны выполнить самые сложные проекты.

**СКИДКА НА СЛОЖНЫЕ
ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ
ОТ 10-ТИ
ПРОВОДЯЩИХ СЛОЕВ**

5%
по промокоду

DfDK

КАК ПОЛУЧИТЬ СКИДКУ

1. Пришлите запрос на e-mail a.arapov@pcbtech.ru
2. Получите готовое КП
3. Сообщите Ваш промокод
4. Получите КП со скидкой

На Ваши вопросы по заказу сложных печатных плат мы всегда ответим по телефону

8 (925) 283-00-38

8 (499) 558-02-54

Каждая плата на этапе запуска в производство проходит инженерный контроль. Наши специалисты проверяют конструкторскую документацию, в случае выявления ошибок информируют заказчика, предлагают варианты оптимизации проекта. Это позволяет вам сэкономить не только время, но и деньги

Подробнее на сайте:
www.pcbtech.ru

Контрактное производство: 8 (495) 988-83-24

О нас:
www.pcbtech.ru/o-kompanii

Общая почта по всем вопросам: pcb@pcbtech.ru



MICROPROCESSORS AND FPGAs

S. Aryashev, S. Vlasov, P. Zubkovsky, S. Sidorov

"KOMDIV-MK" MICROCONTROLLER

The article discusses the "Komdiv-MK" microcontroller produced by FGU Federal Research Center NIISI RAS. It features low power consumption and is intended primarily for use in Industrial IoT devices. The article provides information on the structure, characteristics and applications of the microcontroller.

Keywords: microcontroller, memory, interface

RELIABILITY AND VALIDATION

A. Strogonov, M. Belykh, D. Permyakov

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING

THE OPERATIONAL FAILURE RATE OF LSI

The most popular in Russia guidance for predicting the failure rate of electronic systems are MIL-HDBK-217F US Department of Defense handbook and "Reliability of ERI" domestic reference guide. The article provides information on models and methods for assessing the failure rate of LSIs described in these handbooks, considers the examples of calculating the operational failure rate for some FPGAs.

Keywords: failure rate, reliability prediction, CFR model, MTBF Calculator, parts count model, parts stress model, FPGA

V. Melnikov, N. Skripkin, S. Platonov, Yu. Polyakov

PREDICTING THE RELIABILITY OF NON-INCANDESCENT

MAGNETRONS. TECHNICAL CAPABILITIES ENHANCEMENT

The mobile automated measuring complex (MAMC) developed by Pluton JSC allows you to monitor a number of parameters that have a critical impact on the reliability of the product and eliminate the influence of the human factor in the process of measuring its characteristics.

Keywords: non-incandescent magnetron, reliability prediction, measuring complex

МИКРОПРОЦЕССОРЫ И ПЛИС

С. Аряшев, С. Власов, П. Зубковский, С. Сидоров

118 МИКРОКОНТРОЛЛЕР «КОМДИВ-МК»

Рассмотрен микроконтроллер «Комдив-МК», выпущенный ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН. Он обладает пониженным энергопотреблением и предназначен в основном для использования в устройствах промышленного Интернета вещей. Приведена информация о структуре, характеристиках и возможных применениях данного микроконтроллера.

Ключевые слова: микроконтроллер, память, интерфейс

НАДЕЖНОСТЬ И ИСПЫТАНИЯ

А. Строгонов, М. Белых, Д. Пермяков

122 АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ

ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ БИС

Наиболее популярные в России руководства для прогнозирования интенсивности отказов радиоэлектронных систем – справочник Министерства обороны США MIL-HDBK-217F и отечественный справочник «Надежность ЭРИ». В статье приведены сведения об описанных в этих справочниках моделях и методах оценки интенсивности отказов БИС, рассмотрены примеры расчета эксплуатационной интенсивности отказов для некоторых ПЛИС.

Ключевые слова: интенсивность отказов, прогнозирование надежности, модель с постоянной интенсивностью отказов, MTBF Calculator, модель экспресс-оценки, модель нагрузок, ПЛИС

В. Мельников, Н. Скрипкин, С. Платонов, Ю. Поляков

130 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЕЗНАКАЛЬНЫХ

МАГНЕТРОНОВ. РАСШИРЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ

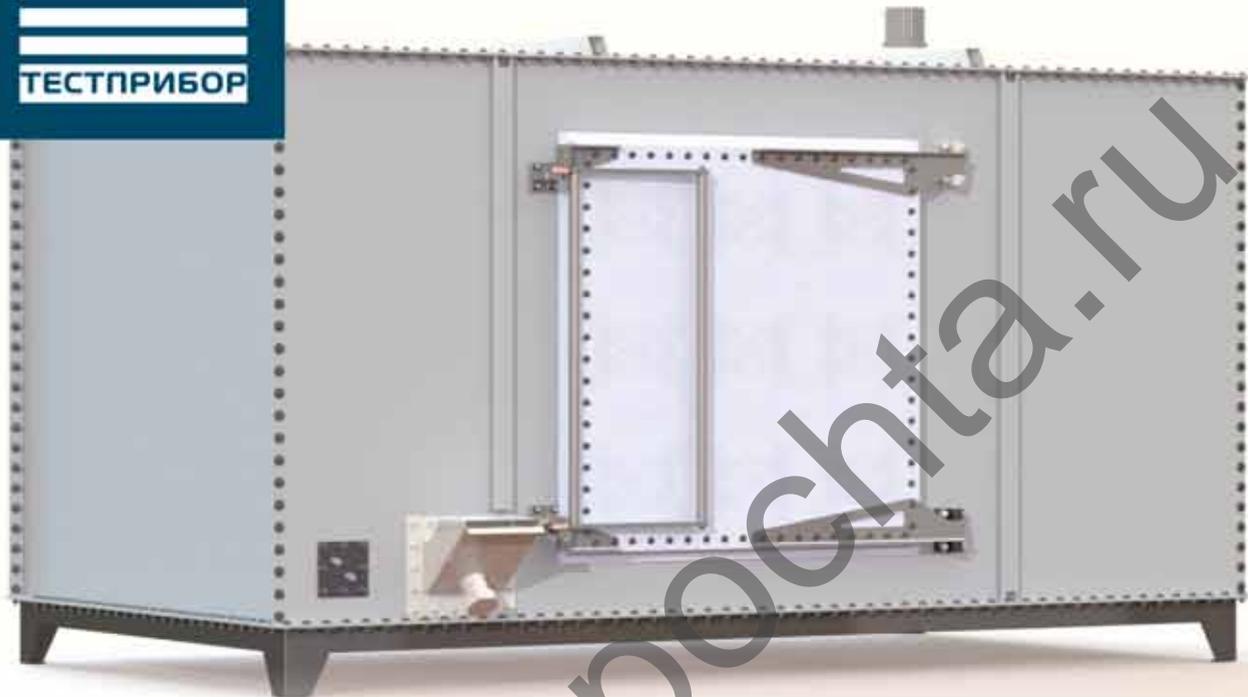
ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Разработанный в АО «Плутон» мобильный автоматизированный измерительный комплекс (МАИК) позволяет контролировать ряд параметров, оказывающих критическое влияние на надежность изделия и исключить влияние человеческого фактора в процессе измерений его характеристик.

Ключевые слова: безнакальный магнетрон, прогнозирование надежности, измерительный комплекс



ТЕСТПРИБОР



ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОЛЕЙ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Испытательная лаборатория ЭМС АО «ТЕСТПРИБОР» начала проводить испытания на воздействие электромагнитных полей высокой интенсивности (HIRF) с применением реверберационной камеры

График зависимости напряженности поля от угла поворота «тюнера» на частоте 1 ГГц при подводимой мощности 35 dBm



Испытания проводятся в соответствии с требованиями раздела 20.0 КТ-160G/14G в частотном диапазоне от 400 МГц до 18 ГГц

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ОТ УГЛА ПОВОРОТА «ТЮНЕРА»

УГОЛ ПОВОРОТА	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
НАПРЯЖЕННОСТЬ, В/М	53	62	65	75	72	75	79	152	112	83	86	85	84	88	108	241	188	174	188
УГОЛ ПОВОРОТА	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	360°	
НАПРЯЖЕННОСТЬ, В/М	288	336	525	650	540	365	261	118	196	185	250	101	70	87	72	69	58	53	



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А

Т. Maksimov

TESTABLE DESIGNING AT OSTEK 138

By the example of Osted's own developments the article considers how, using the synthesis of in-circuit testing and boundary scan of electronic modules, to achieve 100% testability at the design step yet.

Keywords: design, testability, in-circuit testing, boundary scan

R. Zubarev, E. Gorbuntsov

TOOLING FROM ZPP JSC FOR DOMESTIC AND IMPORTED ELECTRONIC COMPONENTS 142

The article considers the contact devices and graphite fixture from Semiconductor Devices Plant JSC (ZPP JSC). It is noted that at the moment the task set by ZPP JSC to create a domestic production of contact devices and graphite fixture has been completed and the results obtained provide further development of these areas.

Keywords: contact device, graphite fixture, package

Т. Максимов

ТЕСТОПРИГОДНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В КОМПАНИИ ОСТЕК

На примере собственных разработок компании Остек рассмотрено, как с помощью синтеза внутрисхемного тестирования и периферийного сканирования электронных модулей добиться 100%-ной тестопригодности еще на стадии проектирования.

Ключевые слова: проектирование, тестопригодность, внутрисхемное тестирование, периферийное сканирование

Р. Зубарев, Е. Горбунцов

ОСНАСТКА КОМПАНИИ АО «ЗПП» ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ИМПОРТНОЙ ЭКБ

Рассмотрены контактные устройства и графитовая оснастка компании АО «Завод полупроводниковых приборов» (АО «ЗПП»). Отмечено, что на данный момент поставленная АО «ЗПП» задача по созданию отечественного производства контактных устройств и графитовой оснастки выполнена и полученные результаты обеспечивают дальнейшее развитие этих направлений.

Ключевые слова: контактное устройство, графитовая оснастка, корпус

FOR ENGINEERS

ИНЖЕНЕРУ

96, 121, 136

ИЗДАТЕЛЬСТВО АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

«ЭЛЕКТРОНИКА:

Наука, Технология, Бизнес»

Научно-технический журнал, посвященный широкому спектру вопросов в области разработки и изготовления электронной и радиоэлектронной аппаратуры и ее компонентов, а также отраслевых тенденций и состояния рынка. Журнал ориентирован как на руководителей различного уровня, так и на научных и инженерно-технических работников в сфере проектирования и производства электроники, а также в смежных областях.

ISSN: 1992-4178

«ПЕРВАЯ МИЛЯ Last Mile»

Научно-технический журнал, посвященный технологиям и бизнесу телекоммуникаций, производства кабелей связи, телевизионного вещания, информационной безопасности. Особое внимание уделяется сетям широкополосного доступа и локальным телекоммуникационным сетям.

ISSN: 2070-8963

«НАНОИНДУСТРИЯ»

Научно-технический журнал, посвященный наноматериалам, наноэлектронике, нанодатчикам и наноустройствам, диагностике наноструктур и наноматериалов, нанобиотехнологиям и применению нанотехнологий в медицине.

ISSN: 1993-8578

«АНАЛИТИКА»

Межотраслевой научно-технический журнал о создании, изучении и применении новых веществ и материалов. Журнал посвящен инновационным междисциплинарным решениям и технологиям в химии и нефтехимии, науках о жизни, материаловедении, нанотехнологиях.

ISSN: 2227-572X

«ФОТОНИКА»

Научно-технический журнал по фотонным и оптическим технологиям, оптическим материалам и элементам, используемым в оптических системах, оборудовании и станках.

ISSN: 1993-7296

«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

Отраслевой научно-технический журнал, комплексно рассматривающий проблемы станкоинструментальной промышленности.

ISSN: 2499-9407

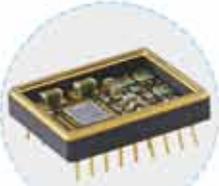
ИЗДАНИЕ КНИГ

Подготовка и выпуск научно-технической и учебной литературы российских и зарубежных авторов в широком спектре научных дисциплин – от материаловедения и электроники до биологии, медицины и нанотехнологий. С ассортиментом книг издательства «ТЕХНОСФЕРА» (в том числе и с электронными версиями изданий) можно ознакомиться на нашем сайте.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

www.technosfera.ru



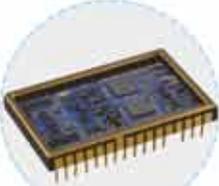
SD/RD10 Series Synchro/Resolver-to-Digital Converter

- Maximum Conversion Accuracy : $\pm (3'+1LSB)$;
- Maximum tracking rate : 160 r/s ;
- Small integrated ceramic package ;
- (25.4mm*19.8mm*5.3mm) ;
- Operating Temperature : -55°C~125°C



JARI DC/DC Power Module

- Efficiency up to 92% ;
- Operating Temperature : 100°C ;
- Patented circuit topology with PFM control ;
- Output voltage regulating range : 75%-110% ;
- Parallelable, with N+M fault tolerance



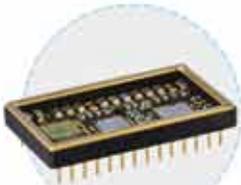
SD25/RD25 Series Two-channel Synchro/Resolver-to-Digital Converter

- Maximum Conversion Accuracy : $\pm (4.5'+1LSB)$;
- 14-bit data bus interface ;
- Internal self-checking signal (BIT) output ;
- Operating Temperature : -55°C~125°C



JARI CPCI/VPX Ruggedized power supply

- Wide input voltage range ;
- Low noise ;
- Strong anti-interference ability ;
- Complete isolation between input and output



SD/RD80 Series Two-speed Synchro/Resolver-to-Digital Converter

- Combination output up to 22 bits ;
- Maximum Conversion Accuracy : $\pm 2'$;
- 14-bit/8-bit data bus interface ;
- Internal self-checking signal (BIT) output ;
- Operating Temperature : -55°C~125°C



JARI Pulse power product

- Low noise , Strong anti-interference ability ;
- Small volume, light weight, high power density ;
- With protection features and high reliability ;
- CAN communication outputs ;
- Suitable for medium and small pulsed power loads



DTM90 Series Digital-to-Sine-Cosine Converter

- Resolution: 16 bits ;
- Conversion Accuracy: $\pm 4'$;
- Output Driving Power : 2VA ;
- Radius Vector Error $\pm 0.03\%$;



JARI 10kW system power supply

- Input and output are isolated from each other;
- Over-heat protection;
- CAN communication outputs;
- Good EMI performance , passed CE101 test



LIANYUNGANG JARI Electronics Co., Ltd. - Ведущее предприятие Китая в области высоконадежных электронных компонентов и системной интеграции интеллектуального транспорта и освещения.

- АЦП/ЦАП
- БЛОК ПИТАНИЯ
- РУЧКА УПРАВЛЕНИЯ
- ЭНКОДЕР
- ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ
- ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ
- ОСВЕТИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР
- СВЕТОФОР



О нас: www.jariec.com

- www.jariec.com
- Павел Кой
- +86 13296502631
- +86 0518-85981777
- 0518-85981777
- kou13296502631@163.com

ЖДЁМ
СОТРУДНИЧЕСТВА
С ВАМИ

Чтобы оставаться лидером, необходимо постоянно совершенствоваться

Рассказывает генеральный директор АО «Плутон» В. А. Мельников



Основанное в 1929 году как завод «Точизмеритель», московское предприятие «Плутон» сегодня является российским лидером в области разработки и производства электровакуумных СВЧ-приборов. Среди изделий завода, в частности, импульсные магнетроны и лампы бегущей волны, которые используются в радиолокационных устройствах различного назначения. В прошлом году предприятие проделало большую работу по модернизации производственной базы и сейчас готовится к новым достижениям в области передовой электровакуумной техники.

О том, как развивается предприятие и каковы состояние и динамика рынка электровакуумных приборов в целом в условиях активного развития твердотельной электроники, а также о текущих приоритетах и планах завода на будущее и роли в их осуществлении науки и подготовки кадров нам рассказал генеральный директор АО «Плутон», доктор технических наук Владимир Александрович Мельников.

Владимир Александрович, история АО «Плутон» насчитывает не один десяток лет. Какие основные задачи стоят перед вами, как руководителем предприятия, в настоящее время?

Действительно, наше предприятие существует уже очень давно, и исторически его деятельность связана с выполнением гособоронзаказа. Задачи, которые ставит перед нами государство, непростые, и для того, чтобы их выполнять без задержек и с высоким качеством, необходимо постоянно поддерживать на надлежащем уровне оборудование, производственные сооружения, кадровый состав, а также эффективность управления предприятием. И не просто поддерживать, а развивать.

В частности, в 2021 году мы были вынуждены заменить достаточно большое количество оборудования, потому что увидели, что в условиях растущего объема заказов в технологической цепочке начинали

формироваться «узкие места», которые из-за случайных событий, таких как выход из строя той или иной установки, могли привести к негативным последствиям с точки зрения выполнения планов. Своевременные меры по модернизации парка оборудования стали одним из ключевых факторов успешного выполнения прошлогоднего плана в полном объеме.

Мы планируем и дальше продолжать обновление оборудования, и это является одной из главных задач, которые мы видим перед собой.

Специализация вашего предприятия – электровакуумные приборы. Наверное, с бытательской точки зрения ламповая электроника – область не столь инновационная, если не сказать устаревшая. Насколько здесь необходимо обновление оборудования для внедрения новых технологий, а не только для замены физически изношенных

установок или для увеличения производительности?

Конечно, ламповый телевизор – это прошлый век. Но мы занимаемся не бытовой техникой. Наша продукция предназначена для областей применения, где к аппаратуре предъявляются особые требования, многие из которых твердотельная электроника, вытеснившая лампы в быту, просто не способна обеспечить. Этот факт подтверждается, в частности, тем, что на Западе, где была сделана ставка на твердотельные приборы много лет назад и где имеются большие достижения в этом направлении, в некоторых областях стали возвращаться к электровакуумным приборам. При этом многие технологии производства электровакуумных приборов были утеряны, западным предприятиям пришлось осваивать их заново. А мы не только сохранили эти технологии, но и непрерывно развивали их. И сейчас можно с гордостью сказать, что в некоторых областях мы умеем делать то, что не умеет никто в мире.

Среди областей применения, в которых твердотельная электроника, по крайней мере пока, уступает электровакуумной, например, мощные СВЧ-излучатели миллиметрового диапазона. Кроме того, электровакуумные приборы обладают большей стойкостью к различным излучениям, например космического пространства.

В отношении факторов, влияющих на технологическое перевооружение, я бы отметил тенденцию к применению более высоких частот, меньших длин волн. Одним из основных типов наших изделий являются магнетроны. Опять же, с бытовой точки зрения эти приборы, возможно, ассоциируются с СВЧ-печами, но мы делаем магнетроны для других применений, где к параметрам излучения предъявляются жесткие требования и, как следствие, необходима высокая точность обработки деталей. Некоторые технологические передель в этой области крайне сложны, и их сложность растет с повышением частоты излучения.

Здесь мы действительно обладаем рядом уникальных технологий, которых сейчас нет больше ни у кого. Но это сейчас. Нельзя гарантировать, что эти технологии спустя некоторое время не появятся и за рубежом. Поэтому мы не должны стоять на месте, чтобы оставаться конкурентоспособными не только в настоящее время, но и в перспективе. А когда речь идет о приборах оборонного назначения, то это и вопрос национальной безопасности. Мир так устроен, что «двигаться по горизонтали» очень сложно, практически невозможно. Можно либо идти вверх, либо неизбежно будешь скатываться вниз.

Поэтому, отвечая на ваш вопрос, в области электровакуумных приборов продолжается активное

развитие, перед технологами постоянно ставятся все новые нетривиальные задачи. Внедрение новых технологий и связанное с этим обновление оборудования абсолютно необходимы, причем это должно выполняться в режиме нон-стоп.

Кроме того, возникают и другие ситуации, иногда незапланированные. Например, в этом году было жаркое лето, и мы приняли решение несколько изменить наши планы и потратить часть ресурсов, планировавшихся на обновление оборудования, на организацию комфортных условий для сотрудников. Я считаю, что это было правильное решение, потому что человеческие ресурсы более ценны, чем машины. Люди достойны того, чтобы работать в комфортных условиях, и об этом нужно заботиться в первую очередь.

Наша продукция предназначена для областей применения, где к аппаратуре предъявляются особые требования, многие из которых твердотельная электроника просто не способна обеспечить

При модернизации производства вы пользуетесь помощью государства?

Конечно, от помощи мы никогда не отказываемся, но нужно понимать, что ресурсы никогда не бывают безграничными, в том числе и у государства. Всегда нужно рассматривать различные источники финансирования. Так, в 2021 году мы использовали кредитную схему, реализованную через предприятия Концерна ВКО «Алмаз-Антей». Эти средства помогли нам внедрить новое оборудование, которое уже введено в эксплуатацию и помогло нам существенно поднять эффективность работы, поэтому мы очень благодарны концерну за эту помощь и в особенности за то, что решение было принято очень быстро и вся процедура принятия решений была реализована, как говорится, как по нотам. Всё было реализовано в рамках одного года, и мы уже начали возвращать заемные средства.

Что касается собственно государственной поддержки, на некоторое время «Плутон» выпал из этих программ. В этом никого не стоит винить: просто так сложились обстоятельства. Надеюсь, в новом году мы эту ситуацию скорректируем и будем претендовать на поддержку со стороны государства – не для того, чтобы облегчить себе жизнь, а для того, чтобы гарантированно выполнять те задачи, которые государство перед нами ставит, принимая во внимание

то, что объем этих задач растет, а их ответственность повышается.

Ваши надежды на помощь со стороны государства связаны с мерами, которые проводятся во исполнение Стратегии развития электронной промышленности РФ, утвержденной два года назад?

Конечно. Отраслевые стратегии были и раньше. Есть такая фраза, которую приписывают Альберту Эйнштейну: «Бессмысленно продолжать делать то же самое и ждать других результатов». Новая стратегия действительно кардинально отличается от тех документов, по которым мы жили до того, и это вселяет надежды. Стратегия – это перечень шагов для достижения состояния, которое называется «видение». Это состояние отрасли, которого мы хотим достичь. Так вот, новым стало именно видение. Были сформулированы более амбициозные цели развития. Основой видения стали достижение технологического суверенитета страны и опора на лучшие предприятия отрасли, которые должны потянуть за собой всех остальных. На это государством выделены значительные ресурсы. И это большое доверие. А наша задача – это доверие оправдать.

Новая стратегия развития отрасли кардинально отличается от тех документов, по которым мы жили до того, и это вселяет надежды

Но, как уже говорилось, даже когда средств много, они не безграничны. Важно то, как предполагается распределять государственную поддержку. Из теории надежности известно, что если есть два элемента системы, работающих параллельно, то поддерживать нужно не тот элемент, который слабее, а тот, который сильнее. В новой стратегии присутствует та же логика: ставка делается на отраслевых чемпионов. С моей точки зрения, это совершенно правильно. Во-первых, если компания уже обладает успешным опытом выполнения госзаказа, поставляет свою продукцию на экспорт, создает востребованные и конкурентоспособные изделия, вполне логично поддержать именно ее, чтобы она могла развиваться и далее, оставаясь чемпионом. Во-вторых, такой чемпион, получая поддержку, будет распространять ее далее, вниз по цепочке кооперации, самостоятельно выбирая тех контрагентов, которые тоже сильны и его не подведут. В результате отсеиваются на более низких переделах будут осуществляться естественным образом, на уровне отраслевого сообщества. Министерству не нужно будет

вникать в детали и тратить свои ресурсы на определение того, какие компании, находящиеся ниже в цепочке кооперации, нужно поддержать. Наконец, в-третьих, это будет мотивировать компании становиться сильными.

И конечно, для нас этот подход хорош тем, что АО «Плутон» как раз находится в числе лидеров в своей области. Поэтому мы рассчитываем, что меры поддержки со стороны государства не обойдут нас стороной и это позволит нам продолжать движение вперед и приносить пользу отрасли и стране в целом.

В основе новых технологий так или иначе лежат фундаментальные научные исследования. Как у вас выстроена кооперация с научными учреждениями, вузами?

Наверное, слово «выстроена» здесь не совсем подходящее. Это динамический процесс, больше напоминающий кино, чем статичную фотографию.

Например, мы выделили для себя несколько вузов, в которых видим наибольший потенциал для развития интересующих нас компетенций – это МГТУ имени Н.Э. Баумана, МФТИ и МИРЭА – и как раз сейчас находимся с ними в процессе создания на основе нашего предприятия базовых кафедр, которые позволят решать целый ряд задач. Конечно, первая из них – это подготовка кадров. По электровакuumной тематике в стране кафедр уже не осталось, а нам необходимо передавать молодому поколению тот уникальный и бесценный опыт, который есть у наших специалистов и ветеранов.

Слово «уникальный» употребляется очень часто и из-за этого порой теряет изначальный смысл. Но когда мы говорим о нашем опыте, он по-настоящему уникальный. Его носители – наши сотрудники – приобретали его в течение не одного десятка лет. И утратить эти компетенции мы просто не имеем права.

Еще одна положительная сторона взаимодействия с вузами заключается в том, что сейчас учебные заведения обладают очень хорошей лабораторной базой. Благодаря помощи государства университеты оснащены самым современным дорогостоящим оборудованием. Если мы приобрели бы такое оборудование себе, это было бы по меньшей мере неэффективное использование средств, потому что оно может быть нужно для выполнения отдельных исследований, но не будет применяться постоянно в нашей ежедневной деятельности. Проводя совместные исследования с вузами, мы можем пользоваться их лабораторной базой, а студенты получают важный опыт работы с базой производственной. Ведь завод – это

особая атмосфера, которую не ощутишь, сидя в университетской лаборатории.

Что касается взаимодействия с научно-исследовательскими организациями, мы, как завод, предлагаем свои возможности для реализации тех идей, которые рождаются в их недрах. Здесь есть определенные ограничения, связанные с тем, что первоочередная наша задача – это всё же выполнение производственных планов, и мы не должны жертвовать этим ради идей, направленных на будущее. Но и впадать в другую крайность было бы ошибкой, потому что если сконцентрироваться только на сиюминутных вопросах, то у предприятия не будет перспектив. Более того: тогда мы бы подвели тех молодых специалистов, которые только начинают свой профессиональный путь на нашем предприятии: они бы просто обманулись в своих ожиданиях. То есть здесь должна быть взвешенная позиция, основанная на здоровом консерватизме, оптимальный баланс между текущими и перспективными задачами.

Раз речь зашла о подготовке кадров, как вы оцениваете отношение молодежи к столь специфичной области, как электровакуумные приборы? Насколько она для них интересна?

Наверное, лучше всего ответить на этот вопрос на примере. У нас уже есть опыт, когда к нам на практику пришли 12 студентов из МГТУ имени Н. Э. Баумана, и семь из них остались на заводе. Каждому из них мы назначили наставника из числа опытных специалистов, причем среди наставников есть как ветераны предприятия, так и более молодые перспективные специалисты, и студенты перенимают их знания в непосредственном живом общении. Я считаю, что это хороший результат. Нам удалось достичь его потому, что мы с самого начала понимали, что должны в буквальном смысле понравиться студентам, показав им, что у нас они обретут интересную работу на переднем крае мировой науки и техники, что здесь у них будут перспективы профессионального роста, социальные гарантии, уверенность в будущем. Существуют разные взгляды на то, должен ли человек посвятить всю свою жизнь одной компании: в США к этому относятся скорее негативно, считая это низкой социальной мобильностью, а, например, в Японии это норма. Мне кажется, что мы должны, не впадая в крайности, всё же стремиться к тому, чтобы молодые специалисты связывали свое будущее с нашим предприятием, развиваясь вместе с ним. И молодые люди, у которых есть амбиции, проявляют большой интерес к работе на нашем заводе, глубоко вовлекаются в нее. Это

видно хотя бы по тому, что они не стремятся покинуть свои рабочие места, лишь только закончится рабочий день.

Стоит упомянуть, что на нашем предприятии проводятся меры, способствующие внедрению новых решений и повышению качества и эффективности производства. В частности, у нас внедрена система поощрений работников за создание объектов интеллектуальной собственности. Эти меры – тоже немаловажная деталь в том, чтобы сотрудники не формально выполняли свои обязанности, а были причастны к созданию передовых технологий и осознавали эту причастность.

Когда мы говорим о нашем опыте, он по-настоящему уникальный. И потерять эти компетенции мы просто не имеем права

Говоря о кадровых вопросах, я бы отметил еще один важный аспект, связанный с внедрением новой техники. Для молодежи это также мотивирующий фактор: молодым людям интересно работать на современном оборудовании, высокотехнологичном, с мощным программным обеспечением. Однако старшему поколению это дается не так легко. Мы и в обычной жизни видим, что ребенок гораздо быстрее осваивает тот же смартфон, чем люди старшего поколения. И с этой точки зрения тоже очень важно плотное взаимодействие старожиллов предприятия, являющихся носителями его научно-технического потенциала, и молодежи, которая лишь набирается опыта в предмете нашей деятельности, но при этом быстро осваивает новую технику и способна в краткие сроки приступить к ее эффективному использованию.

Возвращаясь к взаимодействию с научными организациями, бывают ли с вашей стороны запросы к ним на те или иные исследования? Например, если вам для нового изделия нужен определенный материал со специфическими свойствами.

Конечно, мы с такими запросами обращаемся и к фундаментальной науке, и к предприятиям, работающим в смежных областях, и они нам помогают. Но мы проводим научные исследования и собственными силами. Кстати сейчас, пока мы беседуем, один из наших сотрудников защищает кандидатскую диссертацию, а другой специалист недавно защитил докторскую, касающуюся в том числе и новых материалов.

К слову сказать, упомянутая вами в качестве примера тема материалов – это действительно актуальный вопрос, причем связанный не только с новыми разработками, но и с тем, что производство некоторых материалов за последние годы было утрачено в нашей стране. Так, изготовление одного из таких материалов – тройного карбоната бария, стронция и кальция – исчерпав имевшиеся запасы, мы были вынуждены организовать у себя: в противном случае нам бы просто пришлось остановить производство определенных приборов. Это была непростая задача, справились мы с ней не сразу. Но в результате, благодаря знаниям и опыту наших специалистов, а также – что немаловажно – их упорству, она была решена, и сейчас мы не только обеспечиваем свои потребности в данном материале, но и предлагаем его другим предприятиям.

Я убежден, что создавать собственное технологическое оборудование – это правильный путь

В области материалов только лишь список проблем займет не один лист. Наиболее актуальные мы уже преодолели; ведем работу в тех направлениях, которые, вероятно, будут становиться критическими в перспективе, в том числе в силу исчерпания запасов.

Конечно, мы не можем самостоятельно решить все задачи, поэтому мы сформировали перечень материалов, которые необходимы для поддержания электровакуумного направления радиоэлектронной отрасли на конкурентоспособном уровне, и передали его в экспертный совет при Минпромторге России с тем, чтобы в министерстве при расстановке приоритетов были учтены наши потребности наряду с аналогичными заявками от других предприятий. В пределах своих компетенций мы готовы взяться за решение тех или иных задач, связанных с разработкой и производством материалов, если это будет поручено нам.

Какие новые разработки в области конечной продукции ведутся предприятием? Планируется освоение производства новых изделий?

Научно-исследовательская составляющая в «Плутоне» всегда была сильной, что и позволило предприятию сохранить лидирующие позиции по ряду направлений.

Сейчас мы эту деятельность планируем существенно продвинуть в том числе и за счет взаимодействия с вузами. Некоторое время назад мы

сконцентрировали научные исследования и разработку в отдельном подразделении и с 2022 года планируем финансировать данное направление не только за счет средств предприятия, но и из других источников, в том числе с помощью мер государственной поддержки.

Сейчас не хочется забегать вперед, но мы рассчитываем, что эти меры приведут к положительным результатам. Так, у нас есть лаборатория, которая занимается направлением клистронов. Перед ней поставлена задача освоить эти изделия в производстве и впоследствии вывести их на рынок. Мы ожидаем, что в 2022 году эту задачу удастся решить.

Еще одно направление, которое мы рассматриваем как перспективное, – разработка и производство технологического оборудования. Наше предприятие занималось созданием специализированных установок для изготовления электровакуумных приборов и в прошлом, но сейчас необходима разработка нового оборудования, отвечающего современным и перспективным требованиям. Да, некоторые установки можно приобрести за рубежом, но в этом случае встает вопрос технологической независимости, который в нынешних обстоятельствах особенно критичен. Я убежден, что создавать собственное оборудование – это правильный путь, тем более, когда у предприятия есть сильные компетенции в технологиях производства и есть специалисты, обладающие знаниями и опытом в разработке такого оборудования.

Нами уже разработан ряд таких установок, проведены их испытания на стендах. Результаты испытаний показали, что это оборудование обладает лучшими характеристиками чем то, которое используется в производстве сейчас. Мы рассчитываем получить помощь от государства для постановки производства разработанных установок, а также для создания новых. Нам это позволит развивать данное направление, не отбирая ресурсы у других видов деятельности, а государству мы сможем предложить оборудование, которое может быть использовано не только нами, но и другими предприятиями, работающими в области электровакуумного приборостроения.

Много ли предприятий нуждается в таком оборудовании? Насколько сейчас в принципе велик рынок производства электровакуумных приборов?

В России таких предприятий немного. Но нужно учитывать, что их продукция – это в том числе и изделия, которые напрямую влияют на обороноспособность и технологическую независимость страны, поэтому важность задачи создания такого оборудования в России очевидна.

В то же время вакуумные приборы находят применение и в гражданской сфере, а поскольку мы говорим о решениях мирового уровня, рынком для них могут быть и другие страны. Поэтому мы планируем в дальнейшем выходить с нашим оборудованием на экспорт.

Что касается состояния рынка электровакуумных приборов в целом, на мой взгляд, на нем происходят два параллельных процесса. С одной стороны, данное направление нишевое, и эта ниша сужается с развитием твердотельных решений. С другой стороны, требования к аппаратуре растут, и, как уже отмечалось, в некоторых случаях они могут быть обеспечены только путем применения электровакуумных приборов, а развитие технологий в нашей области способствует тому, что такие приборы продолжают быть востребованы и, более того, потребность в них растет. Возникает вопрос: «Какой процесс идет быстрее?». На нашем предприятии мы наблюдаем рост объемов заказов, и можно предположить, что он обеспечен не только возрастающей потребностью в электровакуумных приборах, но и тем, что предприятий, которые способны делать такую продукцию на современном уровне, становится меньше.

Так что, по косвенным признакам можно сделать вывод, что рынок скорее сокращается, но для нас он обладает хорошими перспективами. На нем есть возможности для того, чтобы предприятие продолжало расти. Но для этого мы должны постоянно совершенствоваться, нам необходимо все время повышать свой уровень, чтобы мы могли производить самую передовую продукцию в достаточном объеме.

И, конечно же, необходимо непрерывно искать новые применения, компенсируя сужение рыночной ниши.

Видятся ли такие новые применения на гражданском рынке, учитывая, что речь идет о сложных изделиях, не о магнетронах для СВЧ-печей?

Мы действительно не смотрим в сторону простых решений, прежде всего потому, что там уже есть игроки, прочно занявшие свои позиции, и конкурировать с ними сложно. На языке экономистов плотный, конкурентный рынок называется «красным океаном». Там, чтобы оставаться на плаву, нужно бороться за каждую копейку. Но наша сильная сторона не в этом. Мы должны опираться на научно-технический потенциал, сложные технологии, поэтому мы ищем новые применения в «голубом океане» – том сегменте рынка, где, в силу сложности и наукоемкости задач, игроков очень мало, практически единицы. Поиск этих направлений основывается на нетривиальных идеях, поэтому мы и уделяем столь большое внимание развитию науки

внутри предприятия, взаимодействию с вузами, вовлечению в работу талантливой молодежи, которая тоже может быть генератором таких идей.

И, конечно, гражданские применения в этом «голубом океане» есть. В частности, это технологическое оборудование, о котором мы говорили. Еще один пример – компоненты передающих систем метеолокаторов, которые мы производим на мировом уровне. Это не просто красивые слова: мы поставляем эти изделия в том числе в Европу – в Германию и Италию, а это самое лучшее подтверждение технического уровня нашей продукции. Можно сколько угодно заявлять о высоких характеристиках, соответствии международным стандартам, приводить сравнения на бумаге, но конечной целью для предприятия являются продажи, а европейские компании прагматичны, они не станут покупать то, что их не устраивает.

Поэтому с точки зрения рыночного потенциала мы чувствуем себя уверенно. Сдерживающим фактором для нас является не узость рынка, а ограниченность производственных мощностей. С точки зрения продукции мы готовы расширяться, в том числе увеличивая экспорт, но мы понимаем, что это не должно повредить выполнению планов по гособоронзаказу, который для нас, безусловно, в приоритете. Поэтому мы и ставим во главу угла модернизацию и расширение производственных мощностей, а также координацию научных исследований, производства и подготовки новых кадров, то есть создание эффективной экосистемы, где все компоненты работают, создавая синергетический эффект.

По косвенным признакам можно сделать вывод, что рынок электровакуумных приборов скорее сокращается, но для нас он обладает хорошими перспективами

Прошедший год показал, что у нашего предприятия есть прочная основа для дальнейшего роста. Мы модернизируем производство, наш штат растет, повышается зарплата сотрудников, долги перед поставщиками погашены, налоги платятся в срок и в полном объеме. Это базовые вопросы, не решив которые, сложно думать о стратегических планах. У нас они решены, и мы можем переходить к выполнению задач, направленных на будущее развитие.

Спасибо за интересный рассказ.

С В. А. Мельниковым беседовал Ю. С. Ковалевский

XX Отраслевая научно-техническая конференция радиоэлектронной промышленности пройдет в Воронеже



ОТРАСЛЕВАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Юбилейная Отраслевая научно-техническая конференция радиоэлектронной промышленности, двадцатая по счету, пройдет в Воронеже с 16 по 18 марта 2022 года.

Организатором мероприятия выступает Департамент радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. Соорганизатором и принимающей стороной в этом году станет АО «Научно-исследовательский институт электронной техники», входящий в ГК «Элемент».

Планируется, что конференция соберет на своей площадке более 300 участников. Среди приглашенных делегатов – члены Правительства Российской Федерации, представители федеральных органов исполнительной власти. Запланировано участие в мероприятии руководителей научно-исследовательских институтов, госкорпораций, дизайн-центров, предприятий-производителей,

разработчиков ЭКБ и радиоэлектронной аппаратуры. Участников конференции ждет обширная деловая и культурная программа.

Отраслевая научно-техническая конференция радиоэлектронной промышленности – ежегодное мероприятие, проводимое Министерством промышленности и торговли России с целью содействия системной коммуникации и обмену опытом руководителей отечественной электронной отрасли.

Контакты Организационного комитета конференции:

E-mail: info@niiet.ru

Телефоны: +7 499 404-32-77; +7 499 404-29-11



В АО «НИИЭТ» подвели итоги конкурса StartET



В АО «НИИЭТ» состоялся финал конкурса бизнес-идей, проводимого в рамках I Воронежского фестиваля электроники, науки и робототехники StartET. Победителем стал студент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова Арсений Сухарский. Его проект направлен на создание аналоговой мобильной радиостанции для применения в отдаленных районах России с малым покрытием радиосвязью. Одним из ключевых требований к подобным устройствам является то, что они должны быть доступны по цене как для предприятий, так и для частных лиц, при этом обеспечивая высокое качество связи, от которого может зависеть возможность жизни в этих регионах.

Как отметил технический директор АО «НИИЭТ» Игорь Семейкин, победивший в конкурсе проект интересен еще и тем, что данное направление до этого не рассматривалось в качестве приоритетного, а значит мероприятие достигло своей первоочередной цели: оно не только позволило выявить талантливых студентов, которым будет предложено войти в состав команды предприятия, но и открыло новую область для развития его продуктовой линейки.

Хотя конкурс был направлен прежде всего на поиск идей по созданию устройств, которые могут быть реализованы на компонентной базе производства АО «НИИЭТ», комиссия не могла оставить без внимания проект из сферы технологического оборудования – крайне важной области для развития отечественного производства электронной техники. Представленный Дмитрием Пермяковым проект был посвящен разработке установки формирования тонких прозрачных металл-оксидных пленок методом спрей-пиролиза. Возможность создания такого оборудования будет рассмотрена технологами НИИЭТ, и в случае положительного решения проект будет доведен до уровня лабораторной ре-

ализации, а при получении соответствующей поддержки – и до промышленного образца.

Этот проект разделил второе и третье места с разработкой Дмитрия Рыбникова – беспроводным зарядным устройством для беспилотного электромобиля. Популярность беспроводной зарядки постоянно растет благодаря ее удобству, однако в области создания устройств, способных эффективно передавать существенную мощность на расстоянии, еще есть куда стремиться. Даже не каждый смартфон поддерживает данную функцию. Задача же беспроводной зарядки электромобиля, когда необходимо дистанционно передавать мощность 6,5 кВт, может считаться «топовой».

Кроме того, этот проект коррелирует с разработкой док-станции для видео-конференц-связи, идея которой была предложена на подобном конкурсе, проведенном ранее среди сотрудников АО «НИИЭТ». Это устройство, выполняющее в том числе функции беспроводной зарядки смартфона, уже реализовано предприятием. Симбиоз имеющихся компетенций НИИЭТ в сфере беспроводных зарядных устройств и наработок, полученных в рамках выполнения данного студенческого проекта, сможет придать импульс развитию этого перспективного направления.

Генеральный директор АО «НИИЭТ» Павел Куцько поблагодарил всех участников конкурса, а также образовательные учреждения, поддержавшие мероприятие, среди которых, помимо вузов, была и организация дополнительного образования для школьников – ЦИКДИМ «Кванториум». «Я считаю, что работа, которую мы организовали в рамках фестиваля, поможет в определенной степени решить задачу кадровой обеспеченности электронной и радиоэлектронной промышленности и, самое главное, позволит нам наметить дальнейшие шаги по продвижению привлекательности работы в нашей отрасли и конкретно в АО «НИИЭТ», – отметил руководитель института.

Со своей стороны, Анатолий Деревягин, первый заместитель директора по учебно-воспитательной работе ЦИКДИМ «Кванториум», выразил благодарность организаторам мероприятия, в особенности подчеркнув важность того, что в рамках фестиваля школьники смогли на практике поработать с отечественными микроконтроллерами производства АО «НИИЭТ» благодаря предоставленным предприятием отладочным платам.

Николай Кожухов, представитель еще одной образовательной организации, поддержавшей конкурс, – Воронежского государственного технического университета – также указал на ценность его результатов в практической плоскости: «На наш взгляд, проведенное мероприятие способствует тому, чтобы те проекты, которые были представлены сегодня, приобрели свое развитие и стали не только серьезным исследованием, но и практической разработкой для поднятия отечественного производства».

Конкурс бизнес-идей показал свою эффективность в поиске талантливых молодых людей, в которых заинтересована отечественная электронная промышленность. Главная цель этого начинания будет достигнута, когда конкурс станет постоянным поставщиком идей для расширения спектра задельных работ и практических проектов, а его участники будут пополнять ряды инженеров отрасли, в том числе АО «НИИЭТ». Поэтому планируется, что это мероприятие станет традиционным, а финалистам этого года будет не только предложено присоединиться к команде предприятия, но и оказано содействие в дальнейшей проработке и реализации их проектов. Кроме того, победитель конкурса сможет представить свою разработку на ведущей российской отраслевой выставке ExpoElectronica.

www.niiet.ru

ООО «Галфвинд» – официальный дистрибьютор микропроцессоров и вычислительной техники «Эльбрус»



На конференции Elbrus Partner Day, прошедшей в Москве 13 декабря 2021 года, было объявлено, что компания «Галфвинд» стала официальным дистрибьютором АО «МЦСТ», российского разработчика и производителя микропроцессоров с собственной архитектурой.

В линейке продукции АО «МЦСТ» – вычислительные комплексы и микропроцессоры «Эльбрус», персональные компьютеры, серверы, системы хранения данных. Руководство компании рассказало о перспективах развития продукции «Эльбрус», раскрыло информацию о партнерской

политике АО «МЦСТ», а также о планируемых изменениях в нормативной базе, связанных с поддержкой российских микропроцессоров и оборудования на его основе, которые вступят в силу в 2022–2023 годах.

<https://halfwind.org>

В реестр Минпромторга России внесен первый SSD от GS Nanotech с интерфейсом PCI Express NVMe



Центр разработки и производства микроэлектроники GS Nanotech (в составе холдинга GS Group) получил заключение Минпромторга России о подтверждении производства твердотельных накопителей (SSD) PCIe NVMe в форм-факторе U.2 на территории Российской Федерации. Это первый продукт компании с интерфейсом PCI Express NVMe в реестре промышленной продукции, произведенной на территории РФ.

Опытные образцы накопителя PCIe NVMe в форм-факторе U.2, разработанного специально для построения высокопроизводительных систем хранения данных (СХД) на основе all-flash решений, были представлены GS Nanotech в 2020 году.

«В 2020–2021 годах мы получили аналогичные заключения Минпромторга России на 15 моделей наших SSD в форм-факторах 2,5" и M.2 с интерфейсом SATA III. Теперь в реестр включен и более высокопроизводительный накопитель с интерфейсом PCIe. Признание российского происхождения наших устройств будет способствовать развитию кооперации GS Nanotech с отечественными производителями вычислитель-

ной техники и СХД. Такие инструменты стимулируют импортозамещение и технологический прогресс в нашей стране», – сообщил генеральный директор GS Nanotech Олег Ким. GS Nanotech с 2016 года реализует первый в России проект по разработке и массовому производству SSD. В феврале 2018 года предприятие запустило массовое производство SSD собственной разработки. Сегодня производитель предлагает целую линейку твердотельных накопителей потребительского и корпоративного классов емкостью до 2 Тбайт в нескольких форм-факторах с интерфейсами SATA III и PCI Express NVMe. В основе SSD использованы произведенные GS Nanotech модули памяти, в составе которых последнее поколение кристаллов NAND-памяти от ведущих мировых производителей. Весь производственный цикл – разработка и проектирование SSD, корпусирование модулей NAND-памяти, монтаж компонентов на плате, финальная сборка и упаковка изделий – реализован в инновационном кластере «Технополис GS» (г. Гусев Калининградской области), мощности которого по-

зволяют выпускать более 1 млн твердотельных накопителей в год.

В реестр промышленной продукции, произведенной на территории РФ, включена модель твердотельного накопителя GS SSD со следующими характеристиками:

- форм-фактор: U.2;
- интерфейс: PCIe NVMe Gen 3x4;
- емкость: 1 Тбайт;
- тип памяти: 3D TLC;
- максимальная скорость последовательного чтения: 3400 Мбайт / с;
- максимальная скорость последовательной записи: 1200 Мбайт / с;
- максимальная скорость случайного чтения: 330 000 IOPS;
- максимальная скорость случайной записи: 29 000 IOPS;
- температурный диапазон: 0...70 °С;
- ресурс записи (TBW): не менее 1347 Тбайт.

<http://gsnanotech.ru>

ГИРИКОНД АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РАЗРАБОТКА • ПРОИЗВОДСТВО • ПОСТАВКА

многослойные
керамические
высоковольтные
высокочастотные

Предназначены для работы
в составе мощной аппаратуры
в диапазонах ВЧ, СВЧ и УВЧ.

конденсаторы K15-39

- Группа TCE ————— МПО
- Номинальная емкость ————— 1 ... 5 100 пФ
- Номинальное напряжение ————— 1 000 ... 10 000 В
- Интервал рабочих температур ————— -60 ... +125 °С
- Нароботка ————— 20 000 ч. в предельно допустимом режиме
150 000 ч. в облегченных режимах и условиях эксплуатации

АО «НИИ «ГИРИКОНД», РОССИЯ, 194223, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, УЛ. КУРЧАТОВА, Д.10
(812) 247-14-92, (812) 552-96-81 5526057@GIRICOND.RU WWW.GIRICOND.RU

Новый высококачественный измерительный приемник от Rohde & Schwarz

Измерительный приемник R&S FSMR3000 разработан специально для выполнения поверки генераторов и фиксированных или перестраиваемых аттенюаторов. Прибор сочетает в себе четыре вида измерительного оборудования:

- измерительный приемник с высокой линейностью АЧХ (менее 0,01 дБ);
- анализатор аналоговых (АМ / ЧМ / ФМ) и цифровых модуляций;
- анализатор фазовых шумов с кросскорреляцией;
- анализатор спектра высшего класса.

Концепция «четыре в одном» обеспечивает решение ряда задач с помощью одного прибора: измерение абсолютной мощности, измерение ослабления, анализ модуляции АМ, ЧМ, ФМ и анализ фазовых и амплитудных шумов.

R&S FSMR3000 позволяет упростить процедуру поверки генераторов сигналов и аттенюаторов. Диапазон рабочих частот прибора в зависимости от модели составляет от 2 Гц до 8 ГГц (26,5 ГГц или 50 ГГц). Также стоит отметить широкий динамический диапазон: от -152 до 30 дБмВт. Высокая линейность тракта $\pm(0,009 \text{ дБ} + 0,005 \text{ дБ на шаг } 10 \text{ дБ})$ в сочетании с внешним датчиком мощности обеспечивает высокоточные измерения уровня. Например, датчик серии R&S NRP50T может покрывать весь частотный диапазон вплоть до 50 ГГц.

Наряду с этим прибор позволяет выполнять анализ аналоговых видов модуляции АМ, ЧМ и ФМ. Можно измерить глубину модуляции АМ от 0 до 100% и отклонения частоты FM

до 16 МГц. Есть возможность укомплектовать прибор 16-битным АЦП (опция FSMR3-B80) с частотой 200 млн отсчетов/с для анализа модуляции с полосой сигнала до 80 МГц.

Аппаратная опция FSMR3-B1 превращает FSMR3000 в полнофункциональный анализатор спектра и сигналов высшего класса.

Прибор обеспечивает в стандартной комплектации ряд функций, которые необходимы для калибровки и проверки генераторов. Например, прибор может автоматически измерять высшие гармоники генератора нажатием одной кнопки. Он также имеет функции для измерения TOI, мощности утечки в соседний канал и вариативные маркерные измерения.

Аппаратная опция FSMR3-B60 превращает прибор в полнофункциональный анализатор фазовых шумов (ФШ) с высокой чувствительностью за счет кросскорреляции. Комбинация высокоскоростного процессора и ПЛИС позволяет производить мгновенную обработку данных, поэтому время измерения определяется исключительно по физически необходимому времени записи данных. При этом демодуляция сигнала и корреляция различных измерительных последовательностей не требуют дополнительного времени. Благодаря высококачественным внутренним опорным источникам и усовершенствованной цифровой архитектуре, прибор, оснащенный данной опцией, работает быстрее, чем аналогичные измерительные системы, построенные по принципу оцифровки сигнала после фазового детектора. Наличие режима кросс-

корреляции обеспечивает также повышение чувствительности в зависимости от количества корреляций. Ожидаемое улучшение чувствительности рассчитывается по следующей формуле $\Delta L = 5 \cdot \log(n)$, где ΔL — это улучшение чувствительности к фазовому шуму за счет кросскорреляции (дБ), а n — количество корреляций.

Например, увеличение количества корреляций на 10 приводит к снижению собственных фазовых шумов FSMR3000 на 5 дБ.

Благодаря малому шумящим внутренним источникам очень часто требуется лишь несколько корреляций, чтобы измерить качественный генератор.

Опция FSMR3-K30 позволяет проводить автоматические измерения коэффициентов шума и усиления, благодаря чрезвычайно низкому уровню собственного шума FSMR3000, равному -143 дБмВт (1 Гц) на 2 ГГц или -145 дБмВт (1 Гц) на 25 ГГц без предусилителя (также возможно улучшение от 12 до 20 дБ со встроенным предусилителем). Для подобных измерений необходим источник шума, который подключается на вход исследуемого усилителя или смесителя. В качестве источника шума можно использовать любые доступные шумовые диоды.

При оценке коэффициентов шума и усиления очень важно учитывать частотную характеристику значений ENR и температуру, что не всегда возможно с простыми источниками шума. Интеллектуальные источники шума серии FS-SNS делают этот трудоемкий и подверженный ошибкам процесс автоматическим. Теперь не нужно вводить вручную все таблицы коррекции и строго контролировать температуру окружающей среды.

Используя комбинацию FSMR3-K30 и FS-SNSxx можно измерить коэффициент усиления и коэффициент шума компонентов нажатием одной кнопки. Все результаты отображаются вместе с рассчитанной погрешностью измерений.

Опция FSMR3-K15 способствует расширению возможностей метрологической лаборатории и позволяет выполнять калибровку генераторов сигналов VOR / ILS и навигационных тестеров.

www.rohde-schwarz.com/ru



FPGA IP-блоки Ethernet-коммутатора с поддержкой протоколов резервирования HSR/PRP

Компания TTTech Industrial провела вебинар, посвященный протоколам резервирования Ethernet-сетей HSR (High-availability Seamless Redundancy) и PRP (Parallel Redundancy Protocol) и их применению при построении сетей по стандарту МЭК 61850 «Сети и системы связи на подстанциях».

TTTech Industrial производит набор IP-блоков для реализации на FPGA Ethernet-коммутатора, поддерживающего протоколы резервирования HSR и PRP, которые являются стандартами МЭК 62439-3 и предназначены для построения распределенных систем управления высокой надежности, таких как автоматизация подстанций и управление движением. Набор называется Flexibilis Redundant Switch и является торговой маркой финской компании Flexibilis, приобретенной TTTech в 2016 году.

Оба протокола, HSR и PRP, основаны на передаче источником информации двух копий пакета двумя физически независимыми путями. В случае получения приемником обеих копий информации, вторая копия игнорируется, в случае потери одной копии, вторая используется приемником. Предполагается, что оба физических пути неза-

висимы с точки зрения влияния на них одной и той же неисправности.

Протокол параллельного резервирования PRP (стандарт МЭК 62439-3 Clause 4) использует в качестве альтернативного физического пути вторую сеть, дублирующую первую сеть, то есть затраты на оборудование удваиваются. Протокол бесшовного резервирования высокой готовности HSR (стандарт МЭК 62439-3 Clause 5) использует кольцевую топологию сети, в которой две копии пакета посылаются источником в двух противоположных направлениях кольца, то есть резервирование происходит только на уровне пакетов, а увеличение объема оборудования не происходит.

С помощью набора IP-блоков Flexibilis Redundant Switch (FRS) могут быть реализованы функциональные устройства PRP RedBox и DANP, HSR RedBox, HSR End Node, HSR-PRP RedBox и QuadBox. Набор FRS поддерживает протокол синхронизации точного времени IEEE 1588v2 PTP (Precision Time Protocol).

Реализация протоколов в базовом наборе FRS является FPGA-независимой. Поставляются готовые к применению конфигурации FRS для FPGA



Intel Cyclone IV, V и V SoC. Применение других FPGA требует настройки.

Десятки компаний применяют FRS в своих промышленных сетевых устройствах, в том числе ABB, Alstom Grid, Artesyn Embedded Technologies, DRS Technologies и iS5 Communications.

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

www.avdsys.ru/tttech



Среда автоматизированного тестирования ПО критически важных для безопасности сертифицируемых встроенных компьютерных систем



The Software Quality Company

 DO-178C

 IEC 61508

 IEC 60880

 EN 50128
EN 50657

 ISO 26262

 IEC 62304



Статический анализатор программного кода - контроллер нормативов кодирования на языках C/C++

Поддерживаемые стандарты: MISRA C:2004, MISRA C:2012, MISRA C:2012 Amendment 1&2, MISRA AC AGC, MISRA C++:2008, ISO/IEC TS17961 (C Secure), SEI CERT C и CERT C++, CWE и Adaptive AUTOSAR C++14.

Дистрибьютор в РФ ООО «АВД Системы»
(916) 194-4271, avdsys@aha.ru, www.avdsys.ru/test, www.qa-systems.com

Новая система тестирования беспроводных сетей 5G от Keysight, одобренная ассоциацией CTIA

Компания Keysight Technologies объявила о начале выпуска первой системы тестирования беспроводных сетей (OTA) 5G mmWave, полностью одобренной ассоциацией CTIA. Данная система предназначена для проверки функционирования приемопередатчиков в лабораторных условиях и поможет ускорить внедрение беспроводного широкополосного соединения с использованием ВЧ-диапазона.

Keysight – первый поставщик измерительного и испытательного оборудования, одобренный в качестве поставщика систем ассоциацией CTIA (Ассоциация изготовителей сотовых телекоммуникационных систем), организацией, представляющей интересы американских операторов беспроводной связи в экосистеме мобильных технологий. Для обеспечения сверхвысокой скорости передачи данных со сверхнизким временем задержки во многих современных областях применения систем 5G необходимы широкие полосы пропускания, доступные лишь в диапазоне FR2.

Полная линейка решений для сетей 5G и эмуляции каналов в сочетании с современными измерительными системами, которые соответствуют стандартам 5G New Radio (NR) консорциума 3GPP, позволила Keysight создать первую одобренную CTIA среду для испытаний OTA в сетях 5G mmWave с целью подтверждения РЧ-параметров устройств 5G NR. Эта среда обеспечивает беспрепятственную интеграцию оборудования Keysight – набора инструментов для тестирования на соответствие, платформы для тестирования беспроводных устройств UXM 5G и коллиматорный комплекс (CATR) при реализации сценариев тестирования CTIA.

Keysight тесно взаимодействует с CTIA в области разработки планов аттестационных испытаний, позволяя предприятиям отрасли полностью раскрыть по-



тенциал стандарта 5G NR. Технология 5G mmWave – ключевой компонент, необходимый для реализации инновационных сценариев использования 5G-сетей, таких как дистанционный медицинский контроль, «умное» производство, «умные» порты, устройства видеонаблюдения сверхвысокой четкости, а также применение элементов расширенной и виртуальной реальности (AR/VR) в играх.

Одобранные CTIA испытательные лаборатории (ATL) и производители 5G-устройств также могут использовать испытательные платформы Keysight для доступа к многочисленным сценариям тестирования РЧ-связи, демодуляции, управления радиоресурсами (RRM) и обеспечения соответствия интерфейсу согласно требованиям Всемирного форума по сертификации (GCF) и Совета по сертификации типов PCS (PTCRB).

www.keysight.ru

Новый компактный и точный инерциальный модуль MTi-680 от Xsens

Компания Xsens пополнила портфолио новым компактным инерциальным модулем MTi-680 RTK GNSS / INS с поддержкой кинематики в реальном времени RTK для достижения сантиметровой точности позиционирования.

Модуль MTi-680 позволяет получить данные о местоположении с точностью до сантиметра от внешнего приемника RTK GNSS. Как и остальные модули серии MTi-600, новый модуль отличается малым весом, высокой прочностью и невысокой стоимостью. MTi-680 можно установить либо непосредственно на печатную плату, либо отдельно, соединив его с платой с помощью плоского шлейфа. Эти особенности позволяют использовать данный модуль в приложениях, где цена, масса и габариты являются критичными и при этом требуется сантиметровая точность определения координат.

Новый модуль подходит для областей применения, где требуется решение навигационной

задачи, таких как уличная робототехника и автономные транспортные средства: в сельском хозяйстве, службах доставки до двери, в беспилотных автомобилях и системах помощи водителю (ADAS), а также на открытых строительных и горнодобывающих объектах. Кроме того, MTi-680 может быть интересен для таких применений, как создание трехмерной карты помещения, поверхности Земли или дна водоема, запись данных при тестировании автомобилей, системы стабилизации, определение местоположения человека.

Модуль MTi-680 выполнен в пластиковом корпусе класса пылевлагозащиты IP51 с размерами 28 × 31,5 × 13 мм, оснащен стандартными интерфейсами CAN и RS232 и имеет частоту выдачи информации до 400 Гц. MTi-680 обеспечивает точность измерения крена / тангажа 0,2° (СКЗ) и точность определения курса 0,5° (СКЗ).



Особенности модулей серии MTi-600:

- точная заводская калибровка модулей;
- высокая устойчивость к магнитным помехам;
- адаптивная работа встроенного ПО для оптимального функционирования модулей в различных условиях;
- быстрое начало работы с модулем при помощи отладочного набора и ПО MT Manager.

<https://tellur-el.ru>



Добивайтесь лучших результатов с KeysightCare

ПРОГРАММА РАСШИРЕННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

- Ремонт и поверка с гарантированными сроками выполнения
- Консультации технических специалистов с фиксированным временем ответа
- Доступ к документации на портале KeysightCare
- Обновления ПО
- Уведомления о выходе новых версий прошивок и ПО
- Гибкий выбор программы техподдержки

Служба технической поддержки KeysightCare

E-mail: keysightcare.russia@keysight.com

Тел.: 8-800-301-3884



KEYSIGHTCARE

Новые индуктивности компании Gowanda Electronics

Компания Gowanda Electronics дополнила свою группу индуктивностей, изготавливаемых из немагнитных материалов, выпустив новую серию 28 MG. Эта разработка была выполнена в соответствии с потребностью рынка в индуктивностях из немагнитных материалов, которые могут обеспечить значение индуктивности до 18 мкГн. Такие индуктивные компоненты необходимы для оборудования магнитно-резонансной томографии и других приложений, где использование магнитных материалов нежелательно. Данный перечень приложений весьма широк: телекоммуникационное оборудование, устройства и системы безопасности, авиационная и навигационная аппаратура, лабораторные приборы.

Новые индуктивности выполнены с выводами и предназначены для монтажа в отверстия (thru-hole).

Основные характеристики:

- номинал индуктивности: 1,2–18 мкГн;
- добротность (мин.): 60 (40 для индуктивности 12–18 мкГн);
- частота измерения индуктивности и добротности: 7,9 МГц (2,5 МГц для индуктивности 12–18 мкГн);
- собственная резонансная частота: 45–170 МГц;
- сопротивление постоянному току (макс.): 0,079–4,15 Ом;
- номинальный постоянный ток: 315–2400 мА;
- диапазон рабочих температур: –55...125 °С;
- габариты: длина корпуса 22,86 мм, диаметр корпуса 7,14 мм, длина каждого вывода 36,53 мм, диаметр вывода 0,72 мм;
- вес: 2,65 г.



Индуктивности имеют эпоксидное покрытие, что обеспечивает надежную защиту от деструктивных факторов внешней среды и устойчивость при всех видах пайки оплавлением.

Дополнительную информацию можно получить в ООО «Радиокомп».

www.radiocomp.ru

Простой в использовании 2-портовый Ethernet-коммутатор от Analog Devices

ADIN2111 – простой в использовании, мало потребляющий, 2-портовый Ethernet 10BASE-TTL-коммутатор с интегрированными ядрами физического уровня (PHY) и SPI-интерфейсом. Данный коммутатор специально разработан для мало потребляющих устройств промышленного применения Ethernet 10BASE-TTL, соответствует стандарту IEEE 802.3cg-2019 для передачи данных на большие расстояния со скоростью 10 Мбит/с по одной паре проводов (SPE).

ADIN2111 поддерживает различные конфигурации маршрутизации между двумя портами Ethernet и хост-портом SPI, обеспечивая гибкое решение для линейных, последовательных или кольцевых топологий сетей. Коммутатор поддерживает длину линии до 1700 м, при этом потребляя всего 77 мВт. Два ядра физического уровня поддерживают напряжения передачи данных с размахом 1 или 2,4 В при напряжении питания от 1,8 до 3,3 В. ADIN2111 может автоматически перенаправлять трафик между двумя портами Ethernet без необходимости во внешнем управлении.

ADIN2111 включает в себя коммутатор, два ядра физического уровня Ethernet (PHY) с интерфейсом управления доступом к среде (MAC) и всеми необходимыми аналоговыми схемами, буферы тактовых импульсов ввода и вывода.

В коммутаторе встроена схема контроля напряжения питания и схема сброса при включении пи-

тания (POR) для повышения надежности системы. 4-проводный SPI-интерфейс для связи с хостом может быть настроен как OPEN Alliance SPI или общий SPI. Оба режима поддерживают дополнительную защиту данных или контроль циклического избыточного кода (CRC).

Особенности коммутатора:

- соответствует стандарту 10BASE-TTL IEEE 802.3cg-2019;
- поддерживает уровень передачи сигнала 1,0 и 2,4 В;
- длина линии: 1700 м (при амплитуде 1,0 В), 1700 м (при амплитуде 2,4 В);
- низкое энергопотребление: 80 мВт (один источник питания), 77 мВт (два источника питания, амплитуда сигнала 1,0 В);
- интегрированный коммутатор с SPI-интерфейсом (полнодуплексный режим со скоростью 10 Мбит/с, поддержка 16 MAC-адресов, поддержка OPEN Alliance 10BASE-Tx MAC-PHY интерфейса);
- общая буферная память 28 Кбайт распределяется между портами и хостом;
- запись временных меток IEEE 1588 при передаче и приеме;
- вход кварцевого генератора 25 МГц / внешнего сигнала 25 МГц;
- один или два источника питания 1,8 или 3,3 В;



- встроенная схема контроля напряжения питания и схема сброса при включении питания;
- миниатюрный 48-выводной корпус LFCSP 7×7 мм;
- промышленный температурный диапазон: –40...105 °С.

Области применения: управление промышленными процессами, промышленная автоматизация, автоматизация зданий и сооружений, системы пожаробезопасности.

По всем вопросам, связанным с работой ADIN2111 (поставка образцов, отладочных комплектов, технические консультации), просим обращаться по почте analog@eltech.spb.ru или к менеджеру компании ЭЛТЕХ, который работает с вашей организацией.

Подписаться на новости компании ЭЛТЕХ можно на сайте компании по адресу: <https://www.eltech.spb.ru/novosti>.

www.eltech.spb.ru

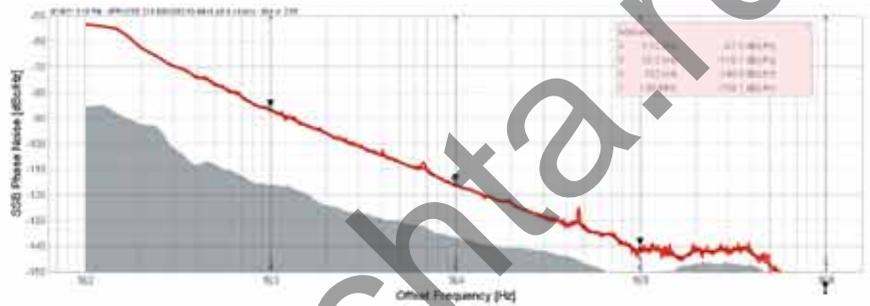
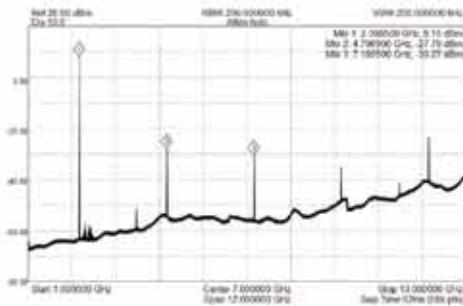
Генераторы, управляемые напряжением, на основе коаксиально-керамических резонаторов



Основные преимущества:

- Малые габариты (12,7x12,7x5,5)
- Низкий уровень фазового шума
- Под поверхностный монтаж
- Полный аналог ГУН от M-C, Z-Comm
- Низкая цена
- Срок поставки от 30 до 90 дней

Возможные номинальные частоты, МГц	900...4100
Перестройка по частоте, %	0...10
СПМ фазового шума при отстройке от несущей частоты на 10 кГц, дБн/Гц	-100...-115
Уровень гармоник, дБн	не более -20
Выходная мощность, дБм	3...10
Напряжение питания, В	5
Напряжение перестройки, В	0.5...4.5
Ток потребления, мА	не более 50
Диапазон рабочих температур, °С	-50...+85



Линейка непрерывно перестраиваемых фильтров



Основные преимущества:

- Малые габариты (25x25x9 мм)
- Под поверхностный монтаж
- Относительный диапазон перестройки более 80%
- Управление с помощью таблицы напряжений или цифрового кода
- Срок поставки от 90 дней

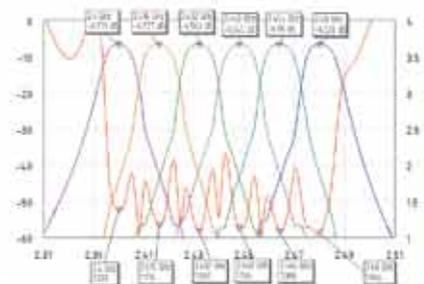


	Диапазон
A3CN9-90N6-225N14-4/4	от 90 до 225 МГц
A3CN9-225N14-520N35-4/4	от 225 до 520 МГц
3CN9-470N24-870N44-4/4	от 470 до 870 МГц
A3CN9-800N40-1200N60-4/4	от 800 до 1200 МГц
Потери в полосе пропускания, не более	8 дБ
Относительная полоса пропускания, не менее	5%
Р1дБ, не менее	15 дБм
ПРЗ, не менее	20 дБм

Мультиплексеры и переключаемые фильтры

Основные преимущества:

- Относительная полоса от 0,25 до 15%
- Малые габариты (для 6 каналов) 195,0x130,0x22,4 мм
- Малые потери
- Возможность интегрирования приемо-передающих модулей в тот же корпус
- Количество каналов определяется требованием заказчика
- Срок поставки от 90 дней



www.radiocomp.ru



РАЗРАБОТКА
ПРОИЗВОДСТВО
ИСПЫТАНИЯ
ПОСТАВКА

РАДИОКОМП

109316 Москва,
Волгоградский проспект, 42
+7 495 95 777 45 / +7 495 361 0904
sales@radiocomp.ru

MPLAB ICE 4 – внутрисхемный эмулятор нового поколения от Microchip

Компания Microchip Technology представила полнофункциональный внутрисхемный эмулятор нового поколения MPLAB ICE 4 – средство разработки для отладки и программирования микроконтроллеров (МК) и микропроцессоров (МП) PIC, AVR, DSC, dsPIC, SAM.

MPLAB ICE 4 – быстрый и многофункциональный инструмент, оснащенный удобным графическим пользовательским интерфейсом интегрированной среды разработки MPLAB X, который предоставляет расширенные возможности отладки при создании энергоэффективного кода.

MPLAB ICE 4 подключается с помощью разъемов SuperSpeed USB 3.0, High-Speed USB 2.0 или по беспроводным каналам Ethernet или

Wi-Fi, что повышает его гибкость и удобство эксплуатации. Подключение к сетям Ethernet или Wi-Fi позволяет эффективно выполнять беспроводное программирование и отладку. Подключение к Ethernet-сети дает возможность осуществлять удаленную отладку приложений, мониторинг которых ведется на большом расстоянии. Wi-Fi-соединение исключает пагубное влияние условий эксплуатации, например воздействие высоковольтных систем управления приводом или приложений без заземляющего контура.

MPLAB ICE 4 эффективно работает по Ethernet-сети в комбинации с CI / CD-инструментами MPLAB X. Разработчики могут воспользоваться CI / CD-мастером в последней версии MPLAB X IDE v6.00 для настройки Jenkins и Docker. Эта среда оснащена функциями отладки MPLAB Data Visualizer, позволяющими отслеживать корреляцию между потребляемой мощностью и кодом. Кроме того, для оптимизации энергопотребления разработчики встраиваемых систем могут воспользоваться двумя независимыми каналами, измеряющими ток с разным разрешением.

Сократить время разработки позволяют расширенные функции внутрисхемного эмулятора MPLAB ICE 4, поддерживающие различные контрольно-измерительные приборы и трассировку команд. Кроме того, ускоряют разработку несколько интерфейсов отладки и программирования ICE 4, а также дополнительные средства подключения с использованием плат адаптеров.

MPLAB ICE 4 выполняет отладку и программирование всех МК, DSC и МП компании Microchip, упрощая проектирование при переходе с одного МК или МП на другой. Благодаря новейшим аппаратным решениям, всесторонней поддержке устройств, множеству функций, надежности и бесшовной интеграции с последней версией MPLAB X IDE v6.00 эмулятор можно использовать как полноценную систему проектирования. Помимо фирменного бесплатного ПО MPLAB X IDE для встраиваемых приложений компания Microchip предоставляет разработчикам полный набор бесплатных оптимизирующих компиляторов и лицензий профессионального уровня на компиляторы, функциональную безопасность и покрытие кода.

www.microchip.com



«Росэлектроника» создала морозостойкие батареи для телекоммуникаций, робототехники, медицины и армии

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации «Ростех» разработал литий-ионные аккумуляторы, обеспечивающие автономную работу устройств при температурах от -50 до 50 °С. Изделия предназначены для телекоммуникаций, медицины, робототехники, нефтегазового сектора, авиации, различного вооружения и войсковой техники. Опытные образцы батарей уже прошли предварительные испытания, запуск серийного производства запланирован на первый квартал 2022 года.

Литий-ионные аккумуляторы разработаны АО «НПО «Импульс» (входит в состав холдинга «Росэлектроника») в рамках реализации стратегической задачи по развитию и совершенствованию отечественной электронной компонентной базы, а также обеспечения импортозамещения в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 616.

Изделия отличаются уникальной электрохимической рецептурой, гарантирующей работу

даже в условиях экстремально низких температур. Химический источник тока весом не более 150 г имеет длительный срок службы – до 2700 и более циклов заряд-разряд в зависимости от условий эксплуатации.

Батареи могут использоваться в качестве источников питания в телекоммуникационном оборудовании, робототехнике, медицине, военной технике, беспилотниках, бортовом корабельном и авиационном оборудовании.

В отличие от стандартных аккумуляторов импортного производства, новые аккумуляторы АО «НПО «Импульс» гораздо дольше держат заряд при низких температурах, что позволяет применять их в условиях Крайнего Севера и даже условий Арктики. Аккумуляторы также могут выпускаться в радиационно-стойком варианте для эксплуатации в космосе.

Батареи могут выпускаться серийно с категорией качества «ОТК», требуемой для обо-



рудования общепромышленного назначения. По требованию заказчиков категория качества может быть повышена до «ВП» – для военных изделий.

www.ruselectronics.ru



Новые ПЛИС и СнК PolarFire® малой плотности

Статическая мощность в половину меньше при минимальном тепловыделении в сравнении с альтернативными устройствами

Периферийным вычислительным системам требуются компактные программируемые устройства с низким энергопотреблением и малым тепловым следом, чтобы исключить использование вентиляторов и других теплоотводов, обеспечив надежный вычислительный ресурс. ПЛИС и СнК PolarFire компании Microchip решают эту задачу, уменьшая статическое энергопотребление на 50%.

ПЛИС PolarFire и дополнительные к ним компоненты в виде СнК PolarFire превосходят по производительности и энергопотреблению любые предлагаемые на рынке альтернативные ПЛИС или СнК ПЛИС с низкой плотностью благодаря быстрой матрице ПЛИС и обработке сигналов, самым производительным трансиверам и единственной в отрасли аппаратной процессорной подсистеме прикладного класса на основе архитектуры RISC-V с 2 Мбайт кэш-памяти 2-го уровня и поддержкой памяти LPDDR4 (Low-Power DDR4).

Эти устройства позволяют решить проблемы с энергопотреблением, размером системы, стоимостью и безопасностью в разных приложениях с ограничениями по тепловому режиму, включая интеллектуальные встраиваемые системы технического зрения и автомобильную электронику, системы промышленной автоматизации, связи, безопасности и интернета вещей, в которых нельзя пожертвовать ни производительностью, ни энергоэффективностью.

Ключевые особенности

- число логических элементов у СнК семейств изделий: от 25 тыс.; у ПЛИС – от 50 тыс.
- наименьший форм-фактор: размеры корпуса составляют 11×11 мм
- 12,7-Гбит/с приемопередатчики, поддержка нескольких протоколов со скоростью 10 Гбит/с
- наименьшая статическая мощность, моментальная готовность к работе при включении
- повышенный допуск на тепловыделение при большей вычислительной мощности
- лучшая в своем классе безопасность и надежность.



microchip.com/lowpowerFPGAs



Наименование компании Microchip не является
PolarFire не является зарегистрированным товарным
выделением. Все иные товарные знаки, упомянутые
в этой публикации, являются собственностью
соответствующих владельцев.
© 2022 Microchip Technology Inc. Все права защищены.
0000000774, MICROCHIP RUS 01-22

Новейшая версия осциллографа смешанных сигналов серии 5 от Tektronix

Компания Tektronix объявила о выпуске новейшей версии отмеченного наградами осциллографа смешанных сигналов (MSO) серии 5. Благодаря различным усовершенствованиям осциллограф серии 5 версии В стал более универсальным, предоставляет расширенные возможности анализа спектра и гибкий доступ к сигналам.

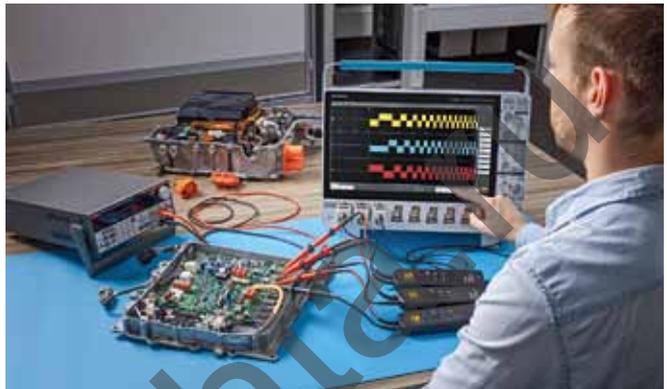
Обладая характеристиками и надежностью исходной версии, осциллограф версии В получил ориентированные на заказчика нововведения, в том числе вспомогательный вход запуска, позволяющий синхронизировать осциллограф по внешнему сигналу, не занимая ни одного из рабочих (четырёх, шести или восьми) полнофункциональных каналов. Максимальная выходная частота встроенного генератора сигналов произвольной формы и стандартных функций выросла с 50 МГц до лучшей в своем классе 100 МГц, что позволяет подавать более высокочастотные испытательные сигналы, например, для построения диаграмм Боде или измерения импеданса.

Для инженеров, работающих удаленно вне лаборатории, новый осциллограф серии 5 В оснащается новыми программными инструментами для автономного анализа и облачного хранения данных. ПО TekScore для ПК позволяет анализировать данные осциллограмм в любом месте без привязки к самому прибору. Встроенные элементы управления прибором позволяют сохранять данные в облачном хранилище TekDrive нажатием одной кнопки.

Быстрый процессор делает управление отзывчивым и поддерживает более сложный анализ измерений.

Дополнительные возможности осциллографа включают в себя:

- новый, более яркий дисплей, который обеспечивает большую четкость, отображая детали сигналов, полученных с 12-разрядных АЦП прибора;
- архивный режим, использующий расширенную память;
- съемный твердотельный накопитель для хранения пользовательских данных (необходим для режимных лабораторий, где важно обеспечить секретность результатов измерений).



Осциллографы оригинальной серии 5 и серии 5 В поставляются с высокоимпедансными пассивными пробниками с полосой пропускания до 1 ГГц, а также поддерживают широкую гамму пробников, таких как пробники шин питания и пробники с оптической развязкой IsoVu, которые не подвержены синфазным помехам.

С момента выпуска оригинальной 5-й серии компания Tektronix выпустила 16 обновлений микропрограммного обеспечения, позволяющих расширить измерительные возможности осциллографа в таких областях, как декодирование последовательных протоколов, анализ электроприводов и анализ РЧ-спектра.

Для получения дополнительной информации об осциллографе смешанных сигналов серии 5 В посетите страницу: <https://www.tek.com/ru/products/oscilloscopes/5-series-mso>. Дополнительная информация о плане полной защиты инвестиций доступна на странице: <https://www.tek.com/ru/services/factory-service-plans/total-product-protection>.

www.tek.com

Ультрапрецизионный термостатированный кварцевый генератор ГК310-ТС для космических применений от АО «Морион»

АО «Морион» (Санкт-Петербург), ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства пьезоэлектронных приборов стабилизации и селекции частоты, представляет ультрапрецизионный термостатированный кварцевый генератор ГК310-ТС (с частотами от 5 до 100 МГц).

Эксплуатационные характеристики данного генератора позволяют использовать его в условиях

открытого космоса в негерметичных отсеках космических аппаратов. Генератор отличается повышенной стойкостью к ВВФ, в том числе к воздействию специальных факторов.

Генератор выполнен в герметичном корпусе 65 × 30 мм (с учетом элементов крепления) высотой 26 мм и может поставляться в двух типах корпусов. Компактные габариты обеспечивают дополнительное преимущество данного прибора.

Генератор обеспечивает высокую долговременную стабильность частоты. Показатели фазовых шумов – на уровне лучших генераторов аналогичного класса (см. таблицу).

В настоящий момент доступны генераторы категории качества «ВП» на частоты 10; 10,23; 25 (5 В) МГц. Возможна поставка с доработкой на ча-

Отстройка, Гц	Уровень фазовых шумов, дБ / Гц			
	10 МГц; 10,23 МГц	25 МГц (5 В)	50 МГц	100 МГц
10 ⁰	-100	-77	-	-
10 ¹	-130	-107	-100	-100
10 ²	-150	-134	-130	-135
10 ³	-155	-145	-155	-150
10 ⁴	-160	-150	-165	-163
10 ⁵	-160	-152	-168	-168

сты от 5 до 100 МГц с питанием 5 или 12 В, в том числе и с уменьшенной высотой 20 мм.

Дополнительная информация об этих и других изделиях доступна на сайте АО «Морион».

www.morion.com.ru





HEP серия

100-1000 Вт, без вентилятора

Подходят для использования в жестких условиях

- Безвентиляторный и залитый компаундом дизайн
- Входной диапазон: 90~350 В AC
- Компактный дизайн с высокой эффективностью
- Широкий диапазон рабочих температур
- Устойчивы к 10G вибрациям
- 6 лет гарантии



ГОЛОВНОЙ ОФИС, ТАЙВАНЬ
MEAN WELL ENTERPRISES CO., LTD.

🏠 www.meanwell.com

☎ +886-2-2299-6100

✉ info@meanwell.com

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО
MEAN WELL В РОССИИ

🏠 www.meanwell.com

☎ +7 (812)-622-06-08

✉ info@meanwellrussia.com



CATALOG



WEBSITE

Совершенствование законодательства о поддержке отечественных производителей промышленной продукции

Заседание Секции по военно-промышленной политике и бюджету Экспертного совета при Комитете Совета Федерации по обороне и безопасности

Ю. Ковалевский



1 декабря 2021 года состоялось заседание Секции по военно-промышленной политике и бюджету Экспертного совета при Комитете Совета Федерации по обороне и безопасности на тему «О состоянии и направлениях совершенствования законодательства по вопросам защиты (поддержки) отечественных товаропроизводителей и промышленной продукции, произведенной на территории Российской Федерации». Мероприятие проходило в режиме видео-конферц-связи.



Проводил заседание **руководитель Секции, первый заместитель председателя Комитета Совета Федерации по обороне и безопасности С. А. Мартынов**. Открывая мероприятие, он напомнил, что на предыдущем заседании обсуждались новации в законодательстве

о закупочной деятельности, основанные на предложениях Минфина России по оптимизации Федерального закона от 5 апреля 2013 года № 44-ФЗ, а также то, насколько вносимые изменения соответствуют ожиданиям в первую очередь участников гособоронзаказа. С. А. Мартынов отметил, что в целом участниками заседания изменения в указанный Федеральный закон были поддержаны и в дальнейшем были одобрены Советом Федерации.

Тема текущего заседания была предложена Комитетом в продолжение работы над совершенствованием

нормативно-правового обеспечения закупочной деятельности. С. А. Мартынов сообщил, что при подготовке к заседанию был проведен анализ предложений по совершенствованию нормативной правовой базы, поступивших из федеральных органов власти и предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

Результаты данного анализа, а также ряд предложений, внесенных промышленностью, озвучил **заместитель руководителя Секции, директор АНО «Институт стратегического развития» П. А. Верник**. В докладе он привел перечень нормативных документов, регулирующих вопросы поддержки отечественных производителей, а также представил сведения о результатах мониторинга правоприменения законодательства о контрактной системе и предложениях по совершенствованию законодательства в данной сфере. Работа по вопросам поддержки отечественных производителей и товаров проводилась Секцией с 2014 года, и действительно существенные результаты стали достигаться начиная с 2018 года, что произошло в значительной степени благодаря вниманию к поддержке отрасли со стороны заместителя Председателя Правительства РФ Ю. И. Борисова.



П. А. Верник отметил ряд мер поддержки отечественных производителей, введенных за последнее время, в том числе правило «третий лишний», а также механизм квотирования российской продукции в закупках, который уже приносит свои результаты.

При этом важной проблемой остается то, что значительная часть товаров в тендерах «спрятана» в работах и услугах. Выработка подходов для выделения продукции из работ и услуг с целью защиты отечественных производителей – одна из задач, поставленных Ю. И. Борисовым.

Еще одна проблема, озвученная докладчиком, заключается в «сером» импорте из Китая через Казахстан и Киргизстан, когда китайские товары фактически бесконтрольно ввозятся в Россию. В результате, происходит подмена понятий, так как в роли отечественных товаров выступает китайская некачественная продукция, которая в дальнейшем участвует в российском товарообороте.

На основании анализа поступивших предложений по совершенствованию законодательства по вопросам

поддержки (защиты) отечественных товаропроизводителей и российской продукции П. А. Верник выделил ряд вопросов, предлагаемых к обсуждению, включая, в частности, следующее:

- выработанные Секцией предложения по увеличению срока действия заключения о признании продукции отечественной, выдаваемого Минпромторгом России, а также закреплению механизма продления сроков действия данного заключения в упрощенном порядке;
- разработка мер, стимулирующих организации включать свою продукцию в Реестр промышленной продукции, произведенной на территории РФ, и Единый реестр российской радиоэлектронной продукции;
- ужесточение мер ответственности за несоблюдение минимальной доли закупок для товаров российского происхождения;
- обеспечение синхронизации различных каталогов и реестров отечественной продукции, включая в том числе собственные реестры предприятий ОПК, для упорядоченного взаимодействия заказчиков с организациями ОПК.

А. В. Матушанский, директор Департамента стратегического развития и корпоративной политики Минпромторга России, более подробно рассказал о некоторых инструментах поддержки российских производителей и результатах их применения, а именно о постановлениях Правительства РФ от 30 апреля 2020 года № 616 и № 617, определяющих запреты и ограничения на приобретение зарубежной продукции в рамках государственных закупок, а также постановлениях Правительства РФ от 3 декабря 2020 года № 2013 и № 2014, устанавливающих квоты на закупку российских товаров в соответствии с Федеральными законами от 18 июля 2011 года № 223-ФЗ и от 5 апреля 2013 года № 44-ФЗ соответственно. При этом докладчик отметил, что формирование устойчивого спроса для промышленности оказывается, возможно, даже важнее, чем субсидиарные меры, поскольку оно позволяет отрасли спланировать производственную программу и финансовые потоки, которые будут поступать от работы с госзаказчиком.



А. В. Матушанский подчеркнул, что в постановлении № 2014 предусмотрен автоматический сбор отчетности

о выполнении заказчиками установленных квот, что исключает из этого процесса влияние человеческого фактора. Министерством будет ежегодно проводиться оценка исполнения квот заказчиками, на основе которой будут, в частности, формироваться предложения по изменению квот, если на то будут объективные причины. Отчеты по выполнению квот в соответствии с постановлением № 2013 заказчики также обязаны размещать в единой информационной системе с 1 октября 2021 года, что упростит анализ в данной сфере.

Докладчик сообщил, что на момент проведения мероприятия по постановлению № 2014 большинством заказчиков исполнены квоты по 64 позициям из 107, а по постановлению № 2013 исполнение квот составляет в среднем 68%.

В отношении озвученного в предыдущем докладе предложения о стимулировании организаций ко включению их решений в реестры отечественной продукции докладчик отметил, что такими стимулирующими факторами являются как раз перечисленные меры поддержки, которые относятся именно к продукции, включенной в данные реестры.



В. И. Спорт, член коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации, познакомил присутствующих с деятельностью по разработке и систематизации мер по диверсификации производства организаций ОПК, направленных на увеличение доли высокотехнологичной гражданской продукции, а также

на продвижение произведенных на предприятиях ОПК товаров, работ и услуг на гражданском рынке.

Докладчик рассказал, что в 2020–2021 годах были проведены встречи с руководством регионов, представителями оборонных и других промышленных предприятий и прочими заинтересованными сторонами во всех федеральных округах РФ, и были собраны вопросы и предложения, касающиеся совершенствования нормативной правовой базы. Было отмечено, что в целом картина выглядит так, что принятых мер поддержки достаточно, но остается много вопросов по настройке их работы.

В. И. Спорт сообщил, что в рамках коллегии создана межведомственная рабочая группа (МРГ) по диверсификации и развитию рыночных механизмов, на площадке которой данные вопросы концентрируются и делегируются в министерства и ведомства для дальнейшей

проработки. Отметив важность для данной работы поддержки со стороны Совета Федерации и Государственной Думы, докладчик предложил использовать площадку МРГ для обсуждения и решения возникающих вопросов.



Заместитель начальника Управления развития контрактной системы Федерального казначейства РФ И. О. Шандиева привела подробные данные о результатах мониторинга закупок российских товаров, работ и услуг, отметив, что с принятием ряда основополагающих документов стало возможным форми-

рование отчетов по закупке отечественной продукции в автоматическом режиме.

В частности, прозвучала информация о том, что в 2020 году доля закупок российских товаров составила 52,1% по Федеральному закону № 44-ФЗ и 76,1% по Федеральному закону № 223-ФЗ, а на момент проведения заседания для 2021 года эти данные составляли, соответственно, 57,41 и 89,42%. Однако было отмечено, что если данные о закупках по Федеральному закону № 44-ФЗ можно наблюдать в режиме реального времени и существует достаточно механизмов для проверки их корректности, то в отношении закупок по Федеральному закону № 223-ФЗ достоверность данных вызывает сомнения, поэтому в рамках данного закона требуются дополнительные меры по совершенствованию механизма подтверждения страны происхождения товаров, работ и услуг.

По вопросам применения законодательства и предложений по совершенствованию нормативной правовой базы, регулирующей процессы поддержки и защиты отечественных производителей и российского товара, выступили также представители **Министерства обороны РФ, Министерства финансов РФ, Федеральной антимонопольной службы, государственных корпораций «Ростех», «Роскосмос», ПАО «Объединенная авиационная корпорация», АО «Объединенная судостроительная корпорация», АО «ЦНИИ «Электроника».**

По результатам заседания был выработан ряд рекомендаций для рассмотрения Правительством Российской Федерации, направленных на совершенствование законодательства в области поддержки и защиты отечественных производителей. ●

Совместное заседание предприятий Госкорпорации «Росатом» и Секции № 9 МРГ при коллегии ВПК РФ

В. Миронюк



2 декабря 2021 года в Москве в конгресс-центре Технополиса «Москва» прошло совместное заседание представителей предприятий Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и Секции № 9 по участию малого и среднего бизнеса в разработке и производстве электронной компонентной базы Межведомственной рабочей группы (МРГ) при коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации (ВПК РФ). На заседании обсуждались вопросы импортозамещения ЭКБ в атомной отрасли, возможное участие в решении этой задачи малых и средних предприятий, работающих в сфере электроники и радиоэлектроники, возникающие при этом проблемы и пути их решения.



Открывая заседание, **руководитель Секции № 9, директор АНО «Институт стратегий развития» П. А. Верник** сообщил, что Секцией № 9 проведена большая работа по развитию производства электронных компонентов, стимулированию импортозамещения и налаживанию сотрудничества

производителей отечественной ЭКБ с ее потребителями в различных отраслях промышленности. П. А. Верник подчеркнул, что у каждого потребителя свои запросы. Есть специфика и у «Росатома», заключающаяся в том, что ему требуется широкая номенклатура электронных компонентов при небольших закупках по каждой позиции. Была выражена надежда, что недавно созданная в «Росатоме» специализированная структура обеспечит более оперативное сотрудничество отечественных производителей ЭКБ и предприятий атомной отрасли.

В своем приветственном слове **руководитель группы развития ЭКБ АО «РАСУ» А. Н. Фионов** отметил, что на предприятиях ГК «Росатом» есть понимание необходимости применения отечественной ЭКБ при разработке и изготовлении радиоэлектронной аппаратуры автоматизированных систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Поэтому в настоящее время в АО «РАСУ» проводятся работы по созданию нормативных документов, регламентирующих порядок выбора и применения ЭКБ отечественного и иностранного производства, и формируются программы импортозамещения и перспективных разработок ЭКБ в полном соответствии с мерами Правительства РФ, как ограничительными – Единым реестром российской радиоэлектронной продукции, правилами «третий лишний» и «второй лишний», так и мерами поддержки – предоставлением субсидий российским предприятиям радиоэлектронной промышленности на компенсацию части затрат на создание ЭКБ, модулей и аппаратуры.



Основной доклад по ЭКБ для систем управления и безопасности атомных станций представил **В. Л. Кишкин, первый заместитель главного конструктора ФГУП «ВНИИА»**. Предприятие разрабатывает и серийно выпускает аппаратуру для построения АСУ ТП атомных и тепловых электростанций, а также для промышленных и нефтегазовых объектов. Аппаратура содержит микропроцессоры, ПЛИС, память и средства измерения. В АСУ ТП каждого энергоблока АЭС используется до 20 тыс. модулей, включающих в себя в общей сложности до 40 млн электронных компонентов поверхностного монтажа. Институт уже изготовил более 250 тыс. модулей, и в его планах оснащение электронными системами 20-ти энергоблоков, для чего требуется несколько сотен миллионов ЭК.



Докладчик сообщил, что к соответствующей ЭКБ не предъявляются какие-либо специфические требования – она эксплуатируется в нормальных условиях, и в проекты закладываются электронные компоненты общего применения. В течение срока службы, а это не менее 60 лет, требуется сопровождение аппаратуры (восполнение ЗИПа, модернизация). При этом возникает проблема, связанная со снятием с производства значительного количества компонентов. Это приводит к необходимости

редизайна аппаратуры для реализации ее функций на новой компонентной базе. Таким образом, по мнению докладчика, от электронных компонентов, применяемых в такой аппаратуре, требуется длительный период их доступности.

Проводимый в настоящее время редизайн выявляет еще одну проблему импортозамещения. Чтобы аппаратура была современной и конкурентоспособной, разработчики применяют исключительно зарубежные компоненты. Если российские производители начнут сейчас работу по их замещению, до появления образцов, с которыми сможет работать институт, пройдет около трех лет. Если они будут отличаться от используемых сейчас при редизайне, это повлечет за собой очередную переделку оборудования. Именно поэтому для института предпочтительны прямые аналоги импортной ЭКБ.

При импортозамещении требуется минимальная переработка аппаратуры и программного обеспечения, как минимум сохранение характеристик аппаратуры на прежнем уровне, достаточный объем серийного производства и готовность компонентной базы к автоматизированному поверхностному монтажу. Немаловажным фактором является конкурентоспособная цена.

В. Л. Кишкин проинформировал собравшихся о том, что ФГУП «ВНИИА» разработал новый перечень перспективной элементной базы, который он готов направить заинтересованным компаниям.

Блок докладов с предложениями разработчиков и производителей ЭКБ по взаимодействию с предприятиями ГК «Росатом» начался с презентации **В. А. Косевского, директора по производству АО «НПЦ СпецЭлектронСистемы» («НПЦ СЭС»)**. Предприятие обладает полным циклом производства многослойных керамических модулей на основе LTCC-керамики и по ТЗ заказчика изготавливает многослойные керамические платы, осуществляет монтаж компонентов, проводит все сборочные операции, а также все необходимые испытания. В рамках работ по импортозамещению «НПЦ СЭС» совместно с коллегами из АО «НПП «Исток» внедрил технологию серийного производства изделий на отечественной системе LTCC. В. А. Косевский отметил перспективность LTCC-технологии для создания современных СВК, позволяющих на основе унифицированных конструкций создавать СВЧ-СВК, объединять в одном модуле различные составляющие, в том числе МИС и пассивные компоненты обвязки, внутри многослойных коммутационных структур LTCC.



Главный конструктор ООО «ИнноЦентр ВАО» А. С. Будяков рассказал, что сфера деятельности дизайн-центра лежит в области разработки СВЧ ИС для базовых станций систем связи, радиолокационных систем, а также для различных систем телеметрии, в частности для Интернета вещей. Взаимодействуя с заказчиком, компания оказывает услуги по исследованию рынка, содействует в подготовке технических заданий, выполняет проектирование и обеспечивает внедрение ИС в производство. По словам докладчика, в ближайшие два-три года планируется разработка квадратурных модуляторов и демодуляторов от 6 до 26 ГГц, логарифмических детекторов до 30 ГГц и делителей частоты до 90 ГГц. В более далекой перспективе, в пределах 10 лет, развивая направление радарных датчиков с интегрированными антеннами, компания планирует освоить проектирование приборов миллиметрового диапазона до 300 ГГц.



А. В. Быстрицкий, главный конструктор, заместитель генерального директора АО «КТЦ «ЭЛЕКТРОНИКА», сообщил, что к настоящему времени предприятием реализовано 20 типов ПЛИС, как специального применения с категорией качества ВП, так и не обладающих повышенной стойкостью, но имеющих до 75 тыс. логических элементов. Также компания ведет гражданский проект, субсидируемый в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24 июля 2021 года № 1252, по разработке энергонезависимых ПЛИС на 50 тыс. и 8 тыс. логических элементов, содержащих встроенную флеш-память. По словам докладчика, ожидается, что у изделий будет конкурентная цена.



Начальник маркетингового отдела ООО «ИПК «Электрон-Маш» М. В. Гладких описал ассортимент изделий предприятия, предлагаемых ГК «Росатом». В нем представлены усилители мощности, коммутаторы, широкополосные генераторы, управляемые напряжением, ряд измерительных лабораторных

усилителей мощности, различная оснастка для измерений и испытаний, а также ряд металлокерамических корпусов. Компания планирует расширение линейки СВЧ-усилителей мощности, а также разработку других приборов, в частности синтезатора частоты со встроенным генератором. Предприятие «ИПК «Электрон-Маш», имеющее большой опыт по сборке компонентов в пластиковых корпусах, готово применять эту технологию для изготовления ЭКБ, замещающей импортную продукцию. В планах также освоение других корпусов, предназначенных для поверхностного монтажа.



А. Е. Дёмин, коммерческий директор ООО «Кулон», провел презентацию новейших пассивных электронных компонентов, производимых предприятием. Среди последних разработок – варистор ВР-18, представляющий собой аналог зарубежных изделий серии VLAS компании AVX, проходной помехоподавляющий чип-фильтр БЗ6, керамический чип-конденсатор К10-90. Докладчик отметил, что К10-90 – первый в России конденсатор типоразмера 0402, позволяющий отказаться от импорта аналогов этого типоразмера.



Начальник отдела маркетинга, реализации и ВЭД ОАО «Завод Магнетон» А. В. Никифоров сообщил, что в последние годы заводом освоена в производстве широкая номенклатура материалов и пассивных компонентов, которые по своим характеристикам соответствуют зарубежным аналогам, а по надежности их превосходят. В секторе НЧ ЭКБ и силовой электроники выпускаются накопительные дроссели, фильтры помех, магнитодиэлектрические и ферритовые материалы, которые применяются во вторичных источниках питания и гальванической развязке локальных цифровых сетей. В диапазонах ВЧ и СВЧ серийно производятся делители-сумматоры и направленные ответвители в различных конструктивных исполнениях для поверхностного монтажа и монтажа в отверстия. В номенклатуре предприятия также имеются электрически перестраиваемые СВЧ-фильтры и фазовращатели для различных частотных диапазонов.



Начальник отдела измерений и РЭА АО «ЗНТЦ» Д. Н. Калбазов представил краткую информацию

НЧ ЭКБ и силовой электроники выпускаются накопительные дроссели, фильтры помех, магнитодиэлектрические и ферритовые материалы, которые применяются во вторичных источниках питания и гальванической развязке локальных цифровых сетей. В диапазонах ВЧ и СВЧ серийно производятся делители-сумматоры и направленные ответвители в различных конструктивных исполнениях для поверхностного монтажа и монтажа в отверстия. В номенклатуре предприятия также имеются электрически перестраиваемые СВЧ-фильтры и фазовращатели для различных частотных диапазонов.

Начальник отдела измерений и РЭА АО «ЗНТЦ» Д. Н. Калбазов представил краткую информацию

о предприятии. Собственный дизайн-центр, свое кристалльное и сборочное производство и испытательный центр обеспечивают полный комплекс услуг по производству ИС и электронных модулей на контрактной основе. Дизайн-центр, занимающийся в основном разработкой аналоговых и аналого-цифровых СБИС, в настоящее время также осваивает компетенции в части СВЧ. Предприятие предлагает серийно выпускаемые ИС датчиков тока, преобразователей угловой информации и величины емкости в напряжение. Также освоено производство магниторезистивных чувствительных элементов. В сборочном производстве предприятие владеет технологиями упаковки в металлокерамические корпуса, шовно-роликовой герметизации, 3D-сборки, flip-chip-монтажа и обрабатывает технологию сборки микросхем в пластик.



От АО «Элеконд» выступил **главный конструктор, начальник производства электротехнической продукции С. Л. Широких**, предложивший предприятиям ГК «Росатом» широкий спектр алюминиевых и танталовых конденсаторов, суперконденсаторов и модулей на их основе. «Элеконд» серийно производит ежегодно более 15 млн шт. конденсаторов 76 типов. С. Л. Широких обратил внимание разработчиков предприятий «Росатома» на новые серии конденсаторов и модулей специального назначения. Изделия разработаны в рамках выполнения госконтрактов с Минпромторгом России и включены в Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Предлагается также рассмотреть возможность использования изделий «Элеконд» в аппаратуре гражданского назначения, комплексных системах безопасности, пожарной безопасности, АСУ ТП и других подобных областях.



Коммерческий директор АО «Ангстрем» И. К. Корепанов пригласил разработчиков как специальной, так и гражданской аппаратуры пользоваться размещенной на сайте компании оцифрованной базой данных компонентов с возможностью параметрического поиска и подбора, содержащей информацию о 2500 типонаминалах

изделий. В рамках работ по импортозамещению «Ангстрем» готов провести для предприятий «Росатома» экспертизу спецификаций изделий, в которых планируется применять импортные компоненты, и предложить отечественные аналоги. Однако И. К. Корепанов высказал мнение, что полное замещение иностранной компонентной базы российскими аналогами практически невозможно, и поэтому рекомендовал обращаться в «Ангстрем» еще на этапе проектирования изделий, чтобы закладывать в них отечественную ЭКБ. В заключение докладчик предложил заказчикам использовать в своей аппаратуре изделия с приемкой ОТК, если они полностью подходят по своим характеристикам, а не требовать поставки изделий с категорией качества ВП. При небольших запрашиваемых количествах предприятию не выгодно заниматься приемкой с категорией качества ВП.



Генеральный директор ООО «Сейсмотроника» В. Г. Криштоп предложил предприятиям ГК «Росатом» рассмотреть возможность применения электрохимических датчиков и приборов на их основе, которые регистрируют механические колебания в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также вращательные движения. Это низкочастотные датчики, обладающие высокой чувствительностью. Верхняя частота регистрации сигналов – 500 Гц. Область применения датчиков – мониторинг состояния технических сооружений, в первую очередь виброконтроль.



Ведущий научный сотрудник ИСВЧПЭ РАН О. С. Матвеев сообщила, что в институте, обладающем собственным дизайн-центром, производственным участком и измерительной лабораторией, создан полный цикл производства электронных компонентов. Институт изготавливает МИС на GaAs для частот до 40 ГГц и на GaN для диапазонов частот до 96 ГГц и готов поставлять комплекты ИС для радио-передатчиков трактов.





Советник генерального директора АО «ЗИТЦ» А. Н. Михайлова выступила с конкретными предложениями к предприятиям электронной отрасли по сотрудничеству с ГК «Росатом»:

- создать в интересах ГК «Росатом» закрытый «доверенный» дизайн-центр сквозного проектирования ЭКБ;
- разрабатывать ЭКБ под конкретные конечные изделия, выпускаемые ГК «Росатом»;
- с целью сокращения номенклатуры ЭКБ и уменьшения импортозависимости проводить модернизацию используемых в ГК «Росатом» изделий на основе современных унифицированных схмотехнических и технологических решений.



Начальник отдела аналитики и интеграции АО «НПП «Цифровые решения» С. А. Плотко

познакомил с ассортиментом разработанных и выпускаемых компанией электронных компонентов и аппаратуры. В последние годы компания выводит на рынок продукты, разработанные как самостоятельно, так и при поддержке государства.

Это, в частности, контроллер для твердотельных накопителей с интерфейсом USB 3.0 и SATA 6 Гбит/с, флеш-накопитель с интерфейсом USB 3.0. Потребителям предлагаются также ИС различного применения. Среди новинок – ИС для коммутаторов и маршрутизаторов с пропускной способностью до 6,4 Тбит/с. Ее разработка ведется в рамках сквозного проекта, якорным заказчиком которого является ПАО «Ростелеком», с использованием субсидий по Постановлению Правительства РФ от 24 июля 2021 года № 1252. Также предлагается аппаратура для систем информационной безопасности телекоммуникационной техники.



От ФГУ «ФНЦ НИИСИ РАН» выступил ведущий научный сотрудник, заместитель заведующего отделом О. В. Сердин, предложивший предприятиям ГК «Росатом» рассмотреть продукцию института:

- линейку микропроцессоров «Комдив» собственной разработки;

- сложно-функциональные блоки, сопроцессоры;
- системы на кристалле, коммутаторы и контроллеры;
- тестовые системы, загрузчики и драйверы;
- линейку ЭВМ «Багет», программируемые контроллеры и вычислительные системы.

Ключевыми особенностями данных решений являются поддержка систем реального времени, расширенный температурный диапазон и высокая производительность. Есть также линейка ЭКБ с повышенной стойкостью к воздействию спецфакторов.



Генеральный директор ООО «ИДМ-ПЛЮС» В. Г. Стахин

в презентации своей компании сообщил, что она специализируется, в частности, на разработке различных датчиков – магнитных, тока, давления, акселерометров, а также ИС магнитных, емкостных и резистивных датчиков. Разработаны также системы датчиков для тяжелых условий эксплуатации. Компания создает продукты на отечественной ЭКБ, включая собственные ИС. В. Г. Стахин указал на один из недостатков политики воспроизводства зарубежных компонентов, в качестве которых обычно берутся изделия, проектирование которых началось почти десять лет назад с использованием решений того времени. На создание отечественного аналога требуется еще три-четыре года, и таким образом он появится на рынке как минимум с 13-летним отставанием.

Компания создает продукты на отечественной ЭКБ, включая собственные ИС. В. Г. Стахин указал на один из недостатков политики воспроизводства зарубежных компонентов, в качестве которых обычно берутся изделия, проектирование которых началось почти десять лет назад с использованием решений того времени. На создание отечественного аналога требуется еще три-четыре года, и таким образом он появится на рынке как минимум с 13-летним отставанием.



Заместитель генерального директора по развитию АО «Светлана-Рост» А. Г. Филаретов

обратил внимание коллег на то, что «Светлана-Рост» – единственное в России предприятие контрактного производства СВЧ ЭКБ. Более того, это единственная foundry-компания, отгружающая СВЧ-продукцию с категорией качества ВП.

В презентации А. Г. Филаретов перечислил ряд возможных направлений сотрудничества с предприятиями ГК «Росатом» и выделил необходимость включения разработки СВЧ-устройств и СВЧ ЭКБ в цикл подготовки производства аппаратуры.

Генеральный директор ООО НИИ «АСОНИКА» А. С. Шалумов

сообщил, что институт является единственным в России разработчиком САПР в области электроники, служащей для виртуальных испытаний

всей электронной продукции, начиная с ЭКБ и заканчивая шкафами и блоками. Система «АСОНИКА» внесена в реестр отечественного ПО. С ее помощью можно проводить виртуальные испытания электроники на внешние тепловые, механические, электромагнитные и другие воздействия, что позволяет еще на ранних этапах проектирования, до изготовления опытных образцов, обеспечивать высокие показатели надежности компонентов и приборов. НИИ «АСОНИКА» занимается не только внедрением виртуальных испытаний, но и их стандартизацией.



О. В. Кислов, заместитель главного конструктора ФГУП «ПСЗ», подчеркнул важность показателей надежности для элементов аппаратуры, обеспечивающей безопасность в атомной отрасли, и поднял проблему с закупкой ЭКБ с категорией качества ВР. Изделия такой категории хорошо подходят для комплектации изготавливаемого ФГУП «ПСЗ» оборудования для измерения ионизирующих излучений. Однако в настоящее время нормативы не позволяют их приобретать. С некоторыми производителями проблема решается отпуском изделий без военной приемки.



И. И. Фефилов, руководитель рабочей группы Объединенного совета главных конструкторов (ОСГК) по ЭКБ для АСУ и связи ВС РФ и ИСС, предложил для реализации ГК «Росатом» программу импортозамещения ЭКБ, в основе которой лежит единый унифицированный перечень критичных компонентов, обеспечивающих создание перспективных средств и систем в разных областях, в частности АСУ ТП. Докладчик описал алгоритм формирования перечня и выделил приоритетные группы ЭКБ.



А. Н. Фионов отметил, что на заседании не было сказано о соотношении цен на отечественную и иностранную ЭКБ. Он также призвал производителей ЭКБ оперативно делиться технической информацией о своей продукции с АО «РАСУ» для внесения ее в создаваемую отраслевую базу отечественных компонентов.

В заключение **В. Л. Кишкин** заметил, что в докладах о разработке новых ИС и других изделий микроэлектроники не было сказано про технологическую оснащенность для реализации этих разработок. Расчет делается на тайваньские foundry-услуги, но ситуация с ними осложнилась – выстраиваются долговременные очереди из заказчиков. Также он согласился с О. В. Кисловым, что для предприятий ГК «Росатом», разрабатывающих аппаратуру для особо опасных производств, важно включение показателей надежности в характеристики новых отечественных компонентов.

Важный аспект программы – безразрывность и синхронность проектирования, заключающиеся в совместной работе проектировщиков критичной ЭКБ и разработчиков аппаратуры на всех стадиях НИОКР. Такая концепция соответствует идеологии сквозных проектов.

Для подведения итогов заседания слово было предоставлено представителям предприятий «Росатома». **И. И. Черкашин, заместитель главного конструктора АО «СНИИП»,** сделал акцент на том, что обновление аппаратуры с переходом на отечественные электронные компоненты должно проходить безболезненно, без переработки схемотехнических решений, переработки печатных плат и проведения вновь полного цикла испытаний – а для этого российские производители должны предоставлять полные аналоги зарубежных изделий.



По завершении заседания для участников была проведена экскурсия по производственной площадке АО «НПЦ «СпецЭлектронСистемы», изготавливающего модули на основе LTCC-керамики

Новости выставок и премия Electronica

Р. Мангушева¹

Весной специалисты электронной отрасли в очередной раз соберутся в МВЦ «Крокус Экспо» на проводимых совместно международных выставках ExpoElectronica, где будут представлены электронные компоненты, модули и комплектующие, и ElectronTechExpo, посвященной технологиям, оборудованию и материалам для производства полупроводников, электронных компонентов и систем. Организатор выставок – международная компания Nuve Group Plc – готовит насыщенную деловую программу. Участники и посетители смогут обменяться опытом и представить свои инновационные решения. Особого упоминания заслуживает организованная в рамках выставок премия Electronica. В статье, в частности, описаны условия участия и возможности, которые открываются перед номинантами и лауреатами.

ТРАДИЦИОННАЯ ВСТРЕЧА ПРОФЕССИОНАЛОВ

До начала работы выставок ExpoElectronica и ElectronTechExpo 2022 остается менее трех месяцев.

Мы приглашаем всех специалистов отрасли посетить МВЦ «Крокус Экспо» с 12 по 14 апреля 2022 года, чтобы максимально эффективно использовать это время для решения своих бизнес-задач и разделить радость живого общения друг с другом. По отзывам участников и посетителей, атмосфера драйва и позитива на площадке заряжает на год вперед!

Свое участие в выставке подтвердили ключевые российские производители и дистрибьюторы электронных компонентов, оборудования и материалов для производства полупроводников, электронных компонентов и систем.

В 2022 году выставки соберут на своей площадке более 250 участников – российских и иностранных производителей и поставщиков, дистрибьюторов иностранных компаний, разработчиков и поставщиков услуг.

Мы находимся постоянно на связи с нашими иностранными участниками и знаем, что многие планируют свой визит. Однако понимаем, что с учетом продолжающихся ограничений некоторые будут представлены своими партнерами.

Тридцать компаний впервые примут участие в выставках. Среди них

компании, предлагающие технологии и материалы для производства электронных компонентов и устройств, печатных плат, занимающиеся проектированием водородных станций, поставкой промышленной фурнитуры, разработкой и производством телекоммуникационного оборудования и твердотельных накопителей, разработкой принципиально новых решений для СВЧ-, микро- и силовой электроники, вычислительных платформ, а также представляющие оборудование для литья пластмасс под давлением и ряд других направлений развития электронной отрасли.

Мы уже формируем актуальную повестку деловых мероприятий, которые пройдут в рамках выставок. Как всегда, программа будет насыщенной: планируется интересная аналитическая сессия о текущем положении



¹ Выставки ExpoElectronica и ElectronTechExpo, директор.

в отрасли и прогнозах развития и рабочие сессии отраслевых консорциумов. Будут и премьеры, о которых мы сообщим ближе к выставке. Активно проявляют себя российские производители и разработчики, которые проведут свои технические семинары. Расписание мероприятий будет доступно на сайтах выставок в марте.

В третий день выставки мы ждем всех на ставший уже традиционным дискуссионный баттл. В отрасли много резонансных тем, которые хочется обсудить – поэтому будет интересно.

ВНИМАНИЕ, ГОЛОСОВАНИЕ!

Также в третий день выставки мы приглашаем всех поддержать номинантов на соискание премии Electronica, проводимой в рамках выставок ExpoElectronica и ElectronTechExpo.

Заявку на соискание премии Electronica можно подать до 28 февраля. Онлайн-голосование за номинантов пройдет в марте на сайте выставок. Голосовать будут как эксперты, так и посетители – в каждой категории только один раз. Результаты голосования мы подведем в дни проведения выставки на торжественной церемонии награждения лауреатов.

В этом году премию Electronica ожидает ряд изменений. Мы расширили охват направлений деятельности и предлагаем компаниям рынка 10 актуальных номинаций. Каждый соискатель премии имеет возможность представить разработки не старше трех лет в одной или нескольких номинациях. Мы также изменили систему голосования, пригласив экспертное жюри. Оно будет оценивать номинантов, голосуя за кого-то одного в каждой категории и обеспечивая объективную обратную связь по представленному продукту согласно предлагаемым критериям оценки. Мы постарались сделать их более

понятными и простыми, чтобы повысить объективность решений, принятых в процессе голосования.

Информация о составе и компетенциях жюри, а также их напутствия номинантам уже опубликованы на сайтах выставок.

Выставки ExpoElectronica и ElectronTechExpo вносят важный вклад в развитие российской электроники, являясь главной информационной и бизнес-площадкой отрасли. Мы знаем, как важно для участников выставок информировать потребителей и коллег о своих достижениях. Именно поэтому главная цель премии Electronica – помочь компаниям выделиться и прокачать свои навыки в промышленном маркетинге, который базируется на сильных сторонах продукции и на ее ценности для потребителя.

Участвуя в премии, компании не только подготовят мощную аргументацию и обоснование преимуществ представленных решений, технологий и продуктов, но и отшлифуют свои доводы в кругу других участников рынка. Ведь умение перевести технические характеристики в маркетинговые преимущества не менее важно, чем создать «крутой» с технологической точки зрения продукт.

Участие в премии – это дополнительная возможность за приемлемую цену максимально эффективно использовать онлайн-каналы выставок в преддверии мероприятия, чтобы донести нужную информацию до целевой аудитории. Совместно с информационными партнерами наши выставки охватывают более 80 тыс. специалистов отрасли.

Примите участие в премии Electronica и получите дополнительную возможность продвижения ваших брендов и продуктов.

Получите бесплатный билет на выставки 2022 года на сайтах expoelectronica.ru и electrontechexpo.ru по промокоду ee22iHNRH.



Контрактная разработка в России: как она развивается и что ей мешает

Конференция АРПЭ «Контрактная разработка электроники»

Ю. Ковалевский

Услуги контрактной разработки в мире давно заняли свое место в цепочке создания электронной аппаратуры. Вместе с тем, однозначно определить это место не так просто: с одной стороны, границы этого понятия, если не размыты, то по крайней мере не абсолютно четкие, а с другой – модели бизнеса контрактной разработки разнообразны и эволюционируют вместе с рынком и технологиями.

Но как обстоят дела в этой области в России? Какие модели применимы у нас и какие существуют особенности отечественного рынка разработки и производства электроники, влияющие на контрактные услуги? Каков потенциал российского рынка контрактной разработки в целом? На эти и другие вопросы, связанные с развитием данного направления в нашей стране, попытались ответить участники конференции Ассоциации российских разработчиков и производителей электроники (АРПЭ) «Контрактная разработка электроники», прошедшей 9 декабря 2021 года в Москве.

Мероприятие состояло из трех пленарных секций, основу которых составляли презентации и выступления участников, что, однако, не помешало реализовать заявленную организаторами форму живого общения: хотя присутствующих было достаточно много, а ряд участников присоединился к конференции в онлайн-режиме, создавалось ощущение камерной атмосферы, в которой каждый мог вступить в диалог с докладчиком или соведущими.

В качестве последних выступили **Иван Покровский**, исполнительный директор АРПЭ, и **Иван Ларионов**, генеральный директор компании «Третий пин» и руководитель недавно образованного Комитета контрактной разработки АРПЭ.



Иван Покровский

В начале первой секции, тема которой была обозначена, как «Синергия и конфликты бизнес-моделей», **Иван Покровский** представил вводную презентацию, в которой привел основные преимущества аутсорсинга, чем, по его словам, в первую очередь и является контрактная разработка. Среди причин, по которым целесообразно обращаться за данными услугами, были названы,

в частности: высокая сложность задач и, как следствие, нехватка компетенций у заказчика для их решения; высокая скорость внедрения новых решений и технологий; масштабируемость и гибкость такой схемы, в том числе с точки зрения количества задействованных в проекте разработчиков; сокращение издержек за счет того, что контрактные разработчики более эффективны, чем внутренние отделы разработки компаний. В основе преимуществ аутсорсинга – специализация, позволяющая каждому участнику кооперации сосредоточиться на том, что для него является самым главным.

Далее генеральный директор – главный конструктор КБ «Фарватер» **Владислав Перевошиков** представил презентацию, в которой обозначил общие вопросы управления процессом разработки, отметив, что одним из ключевых моментов является взаимодействие между «вершинами магического ромба» – заказчиком, разработчиком, производителем изделия и поставщиком ЭК. Также докладчик напомнил, как устроен процесс разработки и из каких этапов он состоит. Одним из главных выводов доклада Владислав Перевошиков назвал то, что современные проекты обладают высокой сложностью, и если заказчик чувствует, что он не может обеспечить управление проектом собственными силами, то ему целесообразно обратиться в компанию, специализирующуюся на такой деятельности.

Различные модели бизнеса рассмотрел в своем докладе **Георгий Левин**, генеральный директор компании «МикроЭМ Технологии» и руководитель Комитета

по контрактному производству АРПЭ. Говоря о моделях OEM и ODM, он отметил, что первая за время своего существования претерпела существенные изменения и из типичного контрактного производства превратилась в экосистему, построенную вокруг конечного продукта. Модель ODM, напротив, остается неизменной в течение длительного времени и заключается в том, что компания разрабатывает и производит изделия под брендом заказчика, который обеспечивает ей определенный объем и частоту заказов. Контрактный разработчик при этом может выступать в качестве подрядчика ODM- или OEM-компаниями.

Отдельно Георгий Левин отметил факторы, мешающие реализации ODM-модели в России. На регулируемом рынке требованием включения в реестры, применяемые для поддержки отечественных производителей, является владение компанией, продающей товар, конструкторской документацией, которую ODM-компания ей не передает, а в нерегулируемом секторе присутствуют хорошо известные сложности, связанные с конкуренцией с азиатскими производителями.

Следующие три презентации первой секции, представленные директором по продажам в России компании Promwad **Денисом Киселёвым**, генеральным директором – главным конструктором «НПО Ирис» **Дмитрием Беляевым** и заместителем генерального директора компании «Л Кард» **Ольгой Сунцовой**, были посвящены различным моделям взаимодействия между контрактным разработчиком и другими участниками процесса, которые рассматривались в том числе на основе опыта данных предприятий.

Так, **Денис Киселёв**, будучи представителем компании, имеющей многолетний опыт именно в контрактной разработке, отметил, в частности, что заказчик должен четко представлять себе, каким должен быть разрабатываемый продукт и с какой целью он создается. Если такого понимания у заказчика нет, проект не будет успешным. Исходя из этого, управление продуктом – это функция, которая не может быть отдана на аутсорсинг.

Модель, предложенная в докладе **Дмитрия Беляева**, заключающаяся в том, что контрактный разработчик берет на себя также функцию размещения продукта на внешних производствах, вызвала активное обсуждение, в рамках которого были высказаны различные мнения относительно живучести и рискованности данной модели.

Обсуждение вопросов ролей и взаимодействия участников процесса контрактной разработки продолжилось в рамках второй секции конференции, которая, в свою очередь, состояла из двух частей, и вторая часть была посвящена теме «Команда проекта при аутсорсинге разработки». В ее рамках выступили **Иван Ларионов**, руководитель проектного бюро «Формлаб» **Андрей Востриков** и руководитель департамента разработки «Макро Солюшнс» **Сергей Салмин**.

Иван Ларионов, рассмотрев распределение ролей при аутсорсинге разработки, предложил обоснование того, что для успешности проекта заказчику следует найти генподрядчика, обладающего компетенциями в поиске и организации взаимодействия исполнителей. Также в докладе был высказан тезис, что если разработка организована внутри компании, передача проекта на аутсорсинг может служить хорошим тестом качества ее внутренних процессов.



Иван Ларионов

Андрей Востриков остановился на особенностях взаимодействия участников процесса, связанных с тем, что рынок контрактной разработки в России новый и еще не до конца сформированный. В частности, была обозначена проблема, заключающаяся во вмешательстве заказчика в процесс разработки, на что есть ряд причин, включая и то, что такую возможность предоставляет сам контрактный разработчик. Еще одна проблема – завышенные ожидания заказчика, возникающие из-за сложности с формализацией задания, а также невыполнимыми обещаниями, которые дает контрактный производитель в условиях конкуренции за заказ. Это приводит как к невыполнению сроков, так и к неудовлетворенности заказчика результатом, а как следствие, к недоверию контрактным разработчикам.

В презентации **Сергея Салмина** акцент был сделан на взаимодействии заказчика и контрактного производителя полного цикла. Среди преимуществ данной модели для заказчика было названо, в частности, то, что такой контрактный производитель выступает для него единым окном. Кроме того, при данном взаимодействии возможна глубокая оптимизация продукта.

Также Сергей Салмин привел список минимальных сервисов, которые должен предоставлять контрактный производитель для того, чтобы иметь коммерческий успех. Помимо сервисов, связанных с отработкой вопросов технологичности, была названа очень важная в настоящий момент услуга по проверке доступности ЭК, а также анализ затрат.

Этим докладам второй секции предшествовали презентации **Ивана Ларионова** и **Ивана Покровского**, посвященные анализу текущего состояния рынка контрактной разработки в России, а также прогнозам его развития.

Иван Ларионов оценил общее количество контрактных разработчиков на отечественном рынке



в 60–80 компаний и привел данные опроса, проведенного АРПЭ среди 30 таких предприятий. Результаты этого опроса позволяют дать оценку размеру данного рынка, хотя и приближенную, с серьезными допущениями. Эта оценка для 2020 года составила 1,3 млрд руб., при этом в 2020 году наблюдался рост более 20%. Также было отмечено, что по результатам опроса видна большая конверсия заявок, а количество заявок, обрабатываемых одной компанией за год, варьируется от единиц до более чем 100.

Среди областей, в которых выполняются проекты контрактными разработчиками, лидируют электронные изделия для промышленной автоматизации, телекоммуникаций и специальной техники, что в целом соответствует структуре рынка разработки и производства электроники в нашей стране в целом.

Иван Ларионов высказал предположение, что за несколько ближайших лет рынок контрактной разработки вырастет в несколько раз, при этом одним из основных драйверов такого роста он назвал нехватку квалифицированных кадров и конкуренцию за них, что приведет к концентрации разработчиков в компаниях, специализирующихся на контрактных услугах.

Прогноз **Ивана Покровского** был еще более смелый: по его мнению, данный рынок за 3–5 лет вырастет на порядок. При этом количество компаний будет расти не так быстро: сдерживающим фактором станет недостаток квалифицированных руководителей проектов. Соответственно, средняя выручка компаний будет также активно расти.

Основными драйверами роста рынка Иван Покровский назвал то, что в скором времени многим компаниям потребуется разрабатывать собственные устройства взамен тех, которые они выпускают по конструкторской документации, приобретенной у зарубежных

партнеров, а также требования к переходу на отечественные микропроцессоры.

Третья секция конференции также включала две части: «Процессы контрактной разработки» и «Новые возможности». В ее рамках выступили представители компаний «Третий пин», DANNIE, «АЛТ Мастер», «Компэл», JTAG Technologies, «Байкал Электроникс» и «Нанософт», а также «Юзергейт» и «Тринити». Последние две компании характерны тем, что они исторически работают в сфере ИТ и лишь сравнительно недавно стали заниматься разработкой собственных аппаратных средств.

В целом, доклады третьей секции были посвящены опыту компаний в разработке и производстве электронной аппаратуры, применению различных моделей взаимодействия с другими участниками процесса и распределению конкретных функций между компаниями, задействованными в проектах. Также докладчики высказали свои мнения по отдельным вопросам организации контрактной разработки, обсуждавшимся на мероприятии. Прозвучал ряд предложений, направленных на развитие данного рынка и совершенствование взаимодействия при выполнении проектов.

В частности, **Сергей Зорин**, директор группы DANNIE, предложил разработать в рамках АРПЭ ряд типовых документов, которые могут быть использованы в качестве базовых при взаимодействии заказчика и контрактного разработчика, а именно: соглашение о неразглашении, техническое предложение, техническое задание и договор с приложениями. На момент выхода журнала некоторые из них уже разработаны и проходят согласование в Комитете контрактной разработки АРПЭ.

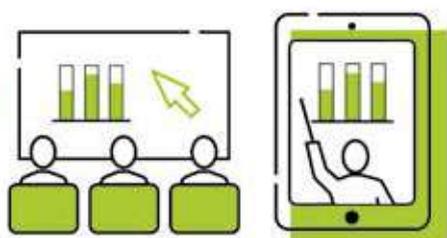
Оживленная дискуссия состоялась после выступления **Бориса Рудяка**, президента группы компаний «Компэл», по поднятому в его докладе вопросу о необходимости при выполнении проекта генерального подрядчика, независимого от других участников процесса разработки и производства. В центре этой дискуссии оказалось то, какие риски должен генеральный подрядчик взять на себя и какую ответственность нести в случае невыполнения проекта.

Конференция оказалась насыщенной информацией, было высказано множество мнений от представителей практически всех сторон, задействованных в разработке и производстве электронной аппаратуры. В заключение мероприятия Иван Покровский отметил, что в АРПЭ будет продолжено обсуждение прозвучавших предложений, а сама тема контрактной разработки будет развита на будущих мероприятиях ассоциации. ●

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



ostec-smart.ru/media



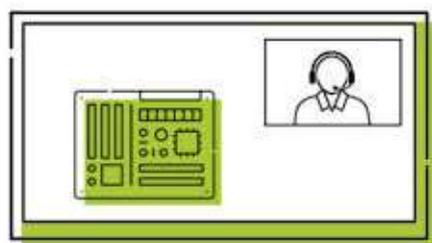
СЕМИНАРЫ
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



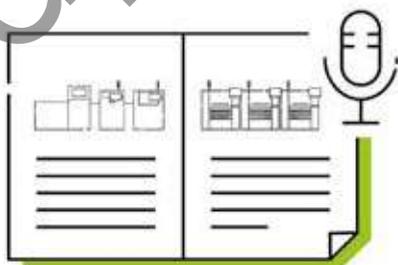
ВИДЕООБЗОРЫ
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



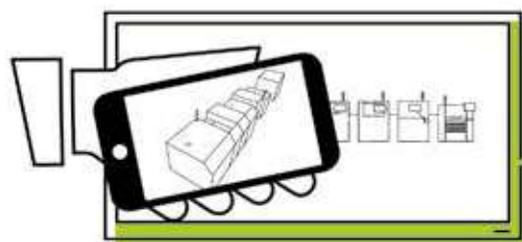
РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ



ЭКСПЕРТНЫЕ
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ПРИЛОЖЕНИЯ

Умная фабрика, которая работает



В конце декабря прошлого года московский контрактный производитель «Райт Электроникс» запустил новую линию поверхностного монтажа. Этот шаг стал не просто модернизацией технологических возможностей компании. За исключением печи оплавления, новая линия построена на оборудовании от одного производителя – Yamaha, и на ней внедряется система умной фабрики того же бренда, которая интегрируется с общей информационной инфраструктурой предприятия.

С момента получения оборудования прошло лишь около двух месяцев, но уже ряд возможностей по автоматизации процессов и интеллектуальных функций реализовано на линии, и видны первые результаты.

О том, почему выбрано такое решение для новой линии, как выбиралось оборудование и какие преимущества дает информатизация на контрактном производстве, нам рассказали представители ООО «Райт Электроникс», ООО «АссемРус» – компании осуществившей поставку оборудования и плотно участвующей в процессе внедрения данного решения, и ООО «Балтийский лизинг», также принявшего участие в данном проекте.

ВЗГЛЯД ПОСТАВЩИКА

Евгений Матов, генеральный директор ООО «АссемРус»: Нашу компанию с «Райт Электроникс» объединяет давнее сотрудничество. ООО «АссемРус» было поставщиком оборудования для этого контрактного производителя, начиная с самой первой его линии.

Сейчас данная компания переходит на новый уровень, внедряя самые передовые решения для управления производством и прослеживаемости от Yamaha – одного из мировых лидеров в технологии поверхностного

монтажа. И это действительно самое передовое, что сейчас есть: если посмотреть описание решений Yamaha для построения умной фабрики – Y.FACT, то добавить к тому проекту, который сейчас мы вместе внедряем, концептуально нечего. Это полное комплексное решение, включающее все возможности автоматизации, которые могут быть реализованы на сегодняшний день на уровне производственной площадки с учетом интеграции с системами уровня предприятия в целом.

Сейчас про умные производства говорится много. Создаются стандарты обмена производственными данными как по горизонтали, между машинами, так и по вертикали – между уровнями общей информационной системы предприятия. Но преимуществом нативных M2M- и IIoT-решений от производителя оборудования является то, что каким бы развитым ни был стандарт, он не позволит собирать всю информацию с оборудования разных производителей. Определенные данные, специфичные для конкретной установки конкретного производителя, останутся для него закрытыми.

Кроме того, объединение в единую систему оборудования разных производителей на практике всегда связано со сложностями «стыковки». Конечно, такие сложности возникают не только при сопряжении оборудования, но и при интеграции системы автоматизации уровня производства с системами уровня предприятия, которые разрабатываются специализирующимися на этом компаниями и которые не зависят от вендора оборудования. Но решение, внедряющееся на производстве «Райт Электроникс» – линия, в которой всё ключевое оборудование, за исключением печи оплавления, и программное обеспечение для автоматизации от одного производителя – позволяет исключить по крайней мере проблемы сопряжения оборудования, а это дает возможность в кратчайшие сроки получить положительный эффект в реальном производстве.

То, как идет внедрение данного решения у «Райт Электроникс», подтверждает это. Линия поступила в компанию в начале декабря прошлого года, к концу декабря она заработала как обычная сборочная линия, без «интеллектуальности», а уже к середине января – месяца, первая неделя которого целиком праздничная, – были внедрены первые элементы автоматизации, и результаты этого уже видны: исключены ошибки, связанные с человеческим фактором при загрузке компонентов в установщики, и, как следствие, устранена необходимость в дополнительном контроле правильности установки питателей. Конечно, такой высокий темп внедрения основан на опыте компании, а также на ее искреннем стремлении сделать свое производство автоматизированным и прозрачным, но если бы решение строилось не на монобрендовом принципе, такой темп не удалось бы взять в принципе. К сожалению, на нашем рынке мы видим примеры, подтверждающие это...

На данный момент на предприятии внедрена примерно треть того функционала, который компания планирует у себя реализовать с точки зрения автоматизации процессов и прослеживаемости производства.

Следующие два этапа внедрения – сквозной учет всех производимых изделий и материальных ресурсов и полный мониторинг производственного процесса. Это позволит, помимо прочего, оперативно управлять поступлением на сборку комплектующих, исключая простои, связанные, например, с тем, что нужный компонент «не оказался в нужное время в нужном месте», контролировать и оптимизировать загрузку линий, анализировать и предупреждать появление дефектов, а также предоставлять полноценную информацию заказчикам о текущем состоянии их заказов и истории изготовления каждого изделия.

По большому счету не имеет значения, в какой последовательности будут реализованы эти два этапа. Каждый из них на каждой стадии внедрения добавляет определенные преимущества производителю.

Конечно, дальнейшие шаги во многом выходят за рамки линии, распространяются на общую инфраструктуру предприятия, его процессы, готовность персонала работать по-новому. Но я уверен, что «Райт Электроникс» сможет оперативно реализовать свои планы: они действительно заинтересованы в создании полноценной умной фабрики, видят реальные преимущества, которые предоставляет этот подход. И идея внедрения данной системы на своем производстве принадлежит им.

Думаю, этому выбору способствовало и то, что мы вместе с представителями «Райт Электроникс» посетили производство, работающее в сфере автоэлектроники, где такое решение, само собой, внедрено: в данной сфере автоматизация процессов и прослеживаемость – необходимость, диктуемая заказчиками. Не имея подобной системы, просто невозможно изготавливать электронные изделия, которые потом идут на конвейер сборки автомобилей. Алексей Смирнов, исполнительный директор «Райт Электроникс», говорит, что на него произвела большое впечатление презентация о том, какой должна быть умная фабрика и как это реализуется с помощью решения от YamaHa, но одно дело – красивая презентация, и совсем другое – реальное производство, где можно увидеть, как это работает и какую пользу приносит.

От принятия решения до поступления оборудования на предприятие также прошло немного времени, и здесь немаловажную роль сыграло то, что компания



воспользовалась механизмом лизинга. Такая модель в 2020–2021 годах стала очень популярной: у нас практически все крупные поставки были лизинговыми, чему способствовала в том числе низкая процентная ставка. Впрочем, сейчас лизинговые компании ставку стали повышать.

Для нас, как поставщика оборудования, лизинг обладает тем преимуществом, что, в отличие от конечного заказчика, который может по разным причинам откладывать платежи, лизинговая компания заинтересована в том, чтобы заплатить как можно скорее. А чем быстрее поступает платеж, тем быстрее приходит оборудование заказчику.

Далеко не каждая лизинговая компания готова работать с технологическим оборудованием. Для некоторых такие сделки слишком маленькие, а некоторые не готовы брать на себя риски, связанные с этой сферой, потому что не имеют опыта работы с рынком электронных производств и в случае, если предприятие не сможет выполнить свои обязательства, просто не будут знать, что делать с оборудованием,

являющимся предметом лизинга. Но те компании, которые уже работали с такими проектами, знают, что в нашей области риски не так велики: клиенты исполняют свои обязательства более аккуратно, чем это происходит в других сферах, где проекты гораздо крупнее, но и зависимость от внешних обстоятельств намного выше.

Мы порекомендовали «Райт Электроникс» компании «Балтийский лизинг», с которой у нас уже были успешные проекты, они прислушались к нашему совету, и сделка состоялась быстро и гладко: от момента принятия решения до проведения платежа прошло около трех недель.

Этот проект действительно выводит «Райт Электроникс» как контрактного производителя на новый уровень. Но и для нас это знаковый проект, благодаря которому на новый уровень выходим и мы, усиливая наш опыт в организации полноценных интеллектуальных производств с мощной экосистемой, в которой оборудование, некогда бывшее центральной составляющей проекта, становится лишь частью.

ВЗГЛЯД ЛИЗИНГОВОЙ КОМПАНИИ



Михаил Лыков, руководитель дивизиона «Москва» ООО «Балтийский лизинг»: В рамках данной сделки мы профинансировали для своего клиента приобретение современного технологического оборудования, в частности автоматического трафаретного принтера YC10 фирмы Yamaha. Это компактная установка, про-

стояя в управлении и переналадке, но использоваться она может при производстве самых сложных печатных узлов. Также было профинансировано и поставлено два скоростных автомата установки компонентов этой же фирмы модели YSM10.

Ко всем сделкам, предметом которых становится высокотехнологичное, дорогостоящее оборудование, у нас индивидуальный подход. Такие проекты точно не назовешь типовыми. Менеджеру, который занимается подобной сделкой, нужно знать много отраслевых нюансов, чтобы согласовать все этапы. Однако сказать, что проект был чрезвычайно сложным, мы тоже не можем. С этим сегментом мы работаем давно, есть отлаженные процедуры, все необходимые компетенции

и надежные поставщики, с которыми у нас давний опыт взаимодействия и в которых мы уверены. Лизинг в сегменте высокотехнологичного оборудования достаточно популярен, он открывает клиентам доступ к налоговым преференциям, лизинговые платежи можно отнести на себестоимость в полном объеме, возможна ускоренная амортизация, НДС в составе платежей принимается к зачету полностью. Учитывая, что в 2021 году власти Москвы и большинства регионов России начали запускать программы льготного лизинга для предпринимателей, спрос будет только расти. Для некоторых компаний актуальным будет и участие в программе «Лизинговые проекты» Фонда развития промышленности (ФРП), с которым мы сотрудничаем. В рамках федеральной программы ФРП промышленники могут получить заем под 1% годовых. Его целевое назначение – оплата авансового платежа на приобретение оборудования. Сумма займа может покрывать от 10 до 90% аванса. Срок, на который предоставляются средства, может достигать пяти лет, однако он не должен превышать срок договора лизинга. Размер аванса, который планирует внести клиент, может варьироваться от 10 до 49%. С января 2020 года ФРП увеличил максимальный размер возможных лизинговых займов до 500 млн руб. При этом «Балтийский лизинг» предлагает помощь в оформлении документов для участия в программе. Согласование также проходит при участии компании.

ВЗГЛЯД ЗАКАЗЧИКА

Алексей Смирнов, исполнительный директор ООО «Райт Электроникс»:

Эта история началась еще в те времена, когда у нашей компании не было своего производства. «Райт Электроникс» было образовано в 2011 году, и первые два года мы осуществляли подготовку к производству как законченных электронных изделий, так и отдельных электронных модулей по документации наших заказчиков с последующим размещением их производства на российских сборочных предприятиях с учетом особенностей конкретного проекта и изделия. Реализовав таким образом несколько крупных проектов, мы на себе прочувствовали все проблемы работы с контрактными производителями со стороны заказчика. И одной из главных проблем была непрозрачность этой работы. Контрактный производитель был фактически «черным ящиком», куда поступал заказ, на выходе получались готовые изделия, а то, что происходило между этими двумя точками, было от заказчика скрыто. И если что-то шло не так – возникали технологические сложности, производитель не укладывался в сроки и т. п. – это приводило к серьезным проблемам, о которых заказчик мог узнать слишком поздно.

Это определило вектор нашего дальнейшего развития. Мы решили создать собственное контрактное производство, максимально открытое для клиентов, потому что видели, что прослеживаемость, прозрачность и, скажем так, возможность управления производством своих изделий у контрактного производителя со стороны заказчика очень востребованы. Иными словами, мы пошли по пути создания для наших клиентов таких условий, чтобы они воспринимали наше производство как свое, чтобы могли свободно посещать производственную площадку, видеть технологию изготовления своих изделий, быть в курсе, на каком этапе производства находится буквально каждая единица их продукции.

Выбирая оборудование, мы сделали ставку на наиболее популярные в то время автоматы установки компонентов – Toraz от компании Assembleon. Популярность бренда дает то преимущество, что на рынке уже есть опыт работы с данным оборудованием. Как следствие, проще и новой компании научиться работать с ним. Его особенности хорошо известны; понятно, как избежать тех или иных ошибок. Кроме того, гораздо проще найти на рынке персонал,



умеющий обращаться с этим оборудованием, чем когда речь идет о некоем экзотическом решении. При этом установщики Toraz пользовались репутацией очень надежного оборудования. Простые, неприхотливые, быстрые и эффективные – как автомат Калашникова.

Эти соображения и легли в основу нашего выбора. И все они оказались верными. Эти установщики у нас работают до сих пор, и мы ими очень довольны.

Исходя из подобных соображений мы выбрали и другие установки линий поверхностного монтажа – принтеры, печи, системы инспекции.

Но каким бы хорошим ни было оборудование, оно имеет свойство морально устаревать. И в определенный момент мы задумались о технологическом перевооружении.

В отношении установщиков решение для нас было очевидным. По своей сути, автоматы установки компонентов компании Yamaha – это те же Torazы, только новые, находящиеся на переднем крае сборочных технологий. Поскольку мы за годы убедились в преимуществах такого оборудования, мы сделали выбор в их пользу. Кроме того, так мы смогли избежать необходимости в переучивании персонала.

Новые установщики способны монтировать практически любые существующие в настоящее время компоненты – от 0201m (008004). На этой линии на практике могут устанавливаться корпуса, имеющие габариты 100×150 мм, что даже больше максимальных размеров компонента, указанных в документации на оборудование. Также на ней можно монтировать процессоры «Эльбрус», которые отличаются большой массой. Максимальная производительность двух автоматов YSM10 и одного YSM20R в сумме составляет 107 тыс. комп./ч. И при этом новая линия очень компактная: даже с печью с большим количеством зон, которая должна к нам скоро прийти, она будет короче, чем линия с тремя установщиками Toraz.

Но помимо того, что новое оборудование должно соответствовать современному уровню технологий, быть способно работать с новыми, более сложными с точки зрения монтажа, компонентами и удовлетворять растущим требованиям по точности и производительности, для нас было важно обеспечивать прослеживаемость и сбор данных о технологическом процессе на максимально возможном уровне. За время, прошедшее с момента приобретения первого нашего оборудования, этот уровень значительно вырос, стали технически осуществимы такие возможности, каких тогда и близко не было.

Здесь ключевым моментом стало то, что около года назад Евгений Матов, генеральный директор ООО «Ассем-Рус», пригласил нас на презентацию, где демонстрировались возможности оборудования Yamaha по обмену данными между установками линии и сбору технологической

информации. После этой презентации я просто «загорелся» желанием создать такую линию на нашем производстве. Казалось, это именно то, что нам нужно, чтобы реализовать нашу концепцию прослеживаемости и прозрачности.

Речь шла о комплексе решений – как аппаратных, так и программных – построенном на базе оборудования Yamaha. Таким образом, было принято решение новую линию строить с использованием не только установщиков данной фирмы, но и установки трафаретной печати, и системы АОИ от той же компании. В линейке Yamaha нет только печи оплавления, поэтому сейчас в линии стоит машина SF-820-LF серии V-soltes от компании Hexi Intelligent Equipment Share Co., а в скором будущем к нам должна поступить новая, 10-зонная печь в азотном исполнении от ведущего мирового производителя – BTU International, снабженная виртуальным сервером, который позволит интегрировать ее в общую информационную структуру и сделать следующий шаг к полной прослеживаемости и мониторингу процесса.

Требуемые характеристики будущей линии в целом нам тоже были понятны. Основываясь на нашем опыте, мы понимали, что в линии должно быть три установщика, два из которых – высокопроизводительные, а третий – максимально универсальный автомат. Помимо производительности, количество установщиков определялось из необходимого количества питателей, поскольку мы, как контрактный производитель, работаем с различными заказами, в том числе с активно растущим сейчас направлением компьютерных материнских плат – а это изделия с очень большим количеством типонаименований, и баз двух установщиков для них может не хватить. Для контрактного производителя вообще чем больше позиций питателей, тем лучше.

На данной линии общее количество позиций под 8-мм ленты составляет 332. Этого достаточно, чтобы собирать, можно сказать, любые изделия из тех, которые сейчас разрабатываются в России.

Кстати, преимуществом монтажных автоматов Yamaha является возможность установки автоматических питателей из палет. Для контрактного производителя это важно, поскольку тем самым повышается гибкость. Если, например, необходимо собрать большую партию материнских плат, на которые монтируется несколько корпусов VGA, можно установить такой питатель, а если собираются устройства, на которых нет таких компонентов, питатель можно снять и установить больше питателей из лент.

Олег Дмитриев, технический директор ООО «Райт Электроникс»: Для более детального определения параметров оборудования мы воспользовались сервисом, который предоставляет Yamaha вместе со своим дистрибьютором: мы передали в ООО «АссемРус» программы, использовавшиеся для сборки нескольких изделий, которые можно считать для нашего производства типичными,



и специалисты этой компании с помощью программного обеспечения Yamaha выполнили моделирование производственного цикла на виртуальных линиях с различными конфигурациями. Сравнив разные варианты, мы остановились на наиболее оптимальном решении. Нужно сказать, что результаты моделирования с высокой точностью совпали

с реальностью: отклонения времени цикла от фактических значений составили доли секунд.

Следующий этап после выбора оборудования – собственно, его закупка и поставка. Про него особенно сказать нечего: просто всё было сделано быстро и четко. «АссемРус» профессионально выполнил свою работу. Для приобретения оборудования мы воспользовались лизинговой схемой, и мы благодарны компании «Балтийский лизинг», которая в краткие сроки и без лишней бюрократии одобрила нашу заявку.

Алексей Смирнов: Отмечу, что выбрав оборудование от одного производителя, нам не пришлось идти на компромисс в отношении его технических возможностей. Всё новое оборудование – премиум-класса. Так, принтер YCPIU, помимо того, что обладает высокой производительностью, имеет развитую встроенную систему контроля нанесения пасты. Кроме того, у него изменяемый угол наклона ракеля, что мы уже оценили на платах с большим количеством миниатюрных компонентов, таких как 0201. Такие корпуса установщики уже давно могут монтировать, и основные проблемы обычно возникают на этапе нанесения пасты. На этом принтере данные проблемы сведены к минимуму.

Установка АОИ YSi-V – это полноценная 3D-система с возможностью ИК-подсветки, что позволяет получать четкие изображения лазерной маркировки. Такая маркировка компонентов встречается всё чаще и постепенно вытесняет традиционную шелкографию. В видимом свете она обладает низкой контрастностью, и считать ее с высокой четкостью затруднительно. ИК-диапазон, в котором контрастность такой маркировки намного выше, очень выручает.

Преимуществом оборудования от одного производителя является и то, что персоналу гораздо проще учиться с ним работать: не нужно изучать различные подходы к написанию программ, интерфейсы у всех установок Yamaha единообразные, одинаковая концепция панелей управления...

Олег Дмитриев: Да и с точки зрения обслуживания такая линия проще. База принтера, установщиков и АОИ одинаковая, многие запчасти универсальные. Кроме того,

хотя это и не связано с техническими возможностями линии, приятное впечатление производит ее внешний вид. Все установки Yamaha выполнены в едином стиле, в их дизайне используются одинаковые цвета. Линия выглядит аккуратной и целостной. А это тоже важно: ведь встречаются по одежке.

Алексей Смирнов: Но для нас главным преимуществом стало то, что эти установки действительно способны общаться между собой и предоставляют полную информацию о технологическом процессе. Например, оптическая инспекция корректирует работу принтера и установщиков, если выявляет некое систематическое отклонение. Конечно, сейчас на такое способно оборудование различных производителей, но у Yamaha это нативная функция. Иными словами, сделать это можно со многими установками, но вопрос в том, сколько и каких «костылей» для этого понадобится, а здесь это делается вообще без «костылей».

Как я сказал ранее, во время презентации нам показалось, что программно-аппаратное решение для умной фабрики от Yamaha – это всё, что нам нужно для обеспечения прослеживаемости и управления процессом. Но это не совсем так. С точки зрения возможностей системы, действительно, функционал выглядит исчерпывающим, но оказалось, что для полноценного ее внедрения мы должны существенно перестроить свою работу.

Олег Дмитриев: Более того, свою работу в некоторой степени должны перестроить наши заказчики.

Прежде всего, речь идет о маркировке плат. Даже если для этого используются этикетки, мы должны согласовать это с заказчиком, поскольку этикетка остается на готовом изделии, чтобы его можно было идентифицировать в дальнейшем. Само собой, это касается и других способов нанесения маркировки, таких как лазерный метод.

Но большинство наших заказчиков осознают преимущества прослеживаемости и идут на такие изменения.

Далее – вопрос интеграции с ERP-системой, изменения в процедурах учета комплектующих и готовых изделий на складе и в бухгалтерии, организация доступа заказчика к данным о процессе изготовления. Еще один момент, который нельзя не учитывать, – где будут храниться все те данные, которые собираются с оборудования. Если речь идет о таких данных, как время выполнения той или иной операции, идентификаторы операторов, информация об устанавливаемых компонентах и т. п., то их объем сравнительно не велик, и тем не менее для их хранения нужен достаточно мощный сервер. А если мы говорим об изображениях, получаемых с АОИ, которые тоже желательно хранить для анализа дефектов и возможности восстановления истории конкретного изделия, то здесь уже речь идет о терабайтах информации.

В прошлом году мы на порядок увеличили емкость наших серверов и в скором будущем собираемся расширить ее еще больше.

Конечно, здесь напрашивается идея облачного хранилища, благо такие услуги сейчас широко представлены на рынке. Но есть два аспекта, из-за которых мы всё же решили хранить данные на собственных серверах. Во-первых, вопрос конфиденциальности информации, а во-вторых, стабильность соединения. Если из-за сбоя подключения к Интернету линия потеряет связь с сервером, она доделает текущую задачу, а затем встанет, что для нас, конечно, неприемлемо. И помимо надежности канала, важный вопрос – его пропускная способность: отклик должен быть очень быстрым, а объем пересылаемых данных – весьма не мал.

Наконец, собрать и сохранить информацию – это полдела. Ее нужно обрабатывать, а для этого необходимо понимать, что именно нас может интересовать в этих больших данных.

Алексей Смирнов: В общем, вопросов достаточно много. Поэтому процесс внедрения системы у нас идет поэтапно. Линию мы запустили в конце декабря прошлого года и затем начали добавлять функции прослеживаемости одну за другой. Пусконаладка современного оборудования – при достаточном опыте уже не такой сложный процесс. Гораздо сложнее – внедрение интеллектуальных функций.

На данный момент у нас работает еще не всё, что мы планируем реализовать. Впереди внедрение прослеживаемости на ручных операциях, подключение к общей информационной системе линий с установщиками Toraz, ряд других задач. Кстати, до 2025 года мы планируем полностью перейти на установщики Yamaha – в том числе для того, чтобы обеспечить максимально возможный сбор данных со всех линий.

Но уже на данном этапе мы получили осязаемые преимущества от внедрения системы умной фабрики от Yamaha. Так, теперь у нас полностью исключен человеческий фактор при загрузке комплектации в линию. Если в установщик будет загружен ошибочный компонент, линия остановится и система сообщит об этой ошибке.

Еще одна функция, которую мы уже реализовали, – чат-бот в Telegram, который сообщает заказчику о прохождении его изделиями основных этапов изготовления. Это первый, но уже работающий шаг к тому, чтобы заказчики имели доступ ко всей информации об изготовлении их продукции.

В наших планах – создание полноценной информационной системы с возможностью не только отслеживания изделий по всей цепочки их производства, но и анализа дефектов, максимального устранения влияния человеческого фактора, оптимизации загрузки. Сейчас мы достигли промежуточного результата. Но производство должно постоянно совершенствоваться, поэтому любой результат здесь промежуточный. История нашего успеха еще не завершена: мы ее пишем в реальном времени и будем писать и далее.

Материал подготовлен Ю. С. Ковалевским

Контрактное производство ИС: ведущие мировые кремниевые заводы расширяют мощности

Часть 1

М. Макушин¹

УДК 621.37 | ВАК 05.27.06

Кремниевые заводы все в большей мере становятся основой производственной базы полупроводниковой промышленности – особенно в сфере новейших и перспективных технологических процессов. Даже крупнейшие традиционные микроэлектронные фирмы полного цикла, такие как Intel и Samsung, вынуждены по экономическим соображениям использовать эту бизнес-модель.

Однако сосредоточенность кремниевых заводов в Азии, в первую очередь на Тайване, делает эту индустрию уязвимой с геополитической точки зрения. Это, в частности, замедление развития крупнейшего кремниевого завода КНР (SMIC) из-за американских санкций, с одной стороны, а с другой – вывод современных производств с Тайваня в США (TSMC) из-за опасений поглощения острова материковым Китаем.

Термином **кремниевый завод (foundry)** принято обозначать контрактное производство ИС по спецификациям заказчика. При этом заказчику для облегчения проектирования ИС предоставляются возможности использования инструментальных средств САПР, баз библиотек стандартных элементов платформ и СФ-блоков² различных фирм-партнеров кремниевого завода. Эта бизнес-модель возникла чуть позднее, чем fabless-фирмы, специализирующиеся на «чистом» проектировании ИС. Первоначально заказы fabless-фирм исполнялись вертикально-интегрированными корпорациями полного цикла (разработка, проектирование и производство ИС) – IDM, однако при этом отсутствовал гарантированный доступ к производственным мощностям, а зачастую и необходимые специализированные процессы. Возникла потребность в специализированных контрактных производителях ИС. Первые кремниевые заводы, тайваньские TSMC (1979) и UMC (1986), «отпочковались» (spin-off) от государственного Института промышленно-технологических исследований (ITRI) Тайваня, выделившись в самостоятельные компании с получением части

активов, после завершения исследовательских программ в области субмикронных полупроводниковых технологий. В свою очередь, появление fabless-индустрии связано с развитием рынка электронной аппаратуры и появлением на нем сегментов, требовавших производства малых и средних партий специализированной конечной аппаратуры для определенного круга заказчиков. IDM, производившие в основном массовые партии стандартных ИС, не всегда могли удовлетворить требования изготовителей комплектной аппаратуры (OEM) в части создания приборов необходимой сложности по приемлемым ценам. Поэтому появились фирмы, занятые конструированием специализированных ИС (ASIC), программируемых логических и некоторых других типов приборов, как правило, более дешевых, чем их аналоги у IDM.

В процессе масштабирования, по мере усложнения и удорожания производственного оборудования, разработки технологических процессов и проектирования ИС число IDM стало сокращаться. Переломом стал период 2005–2010 годов, когда при достижении технологического уровня 22/20 нм многие IDM или превратились в fabless-фирмы, или ушли в другие отрасли, а корпорации Intel и Samsung начали использовать модель кремниевого завода, причем Intel предпринимает эту попытку уже во второй раз. Первый опыт не удался – руководство и специалисты не восприняли foundry-менталитет: обслуживался, прежде всего, узкий круг партнеров корпорации (лицензировавших технологию Intel),

¹ АО «ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.

² Semiconductor IP – совокупность наработок фирмы в области создания библиотек стандартных/заказных элементов и инфраструктуры их поддержки. В России именуется сложно-функциональными (СФ) блоками.

под каждый заказ выделяли свободные на данный момент мощности. Samsung же, опередив Intel с освоением бизнес-модели кремниевого завода на несколько лет, сразу создала в своей структуре автономное подразделение – Samsung Foundry – и обеспечила заказчикам максимальный уровень поддержки. Сейчас это подразделение обладает восемью технологическими линиями в США и Южной Корее, которые способны производить ИС в широком диапазоне проектных норм.

То, что происходит сейчас с производственной базой микроэлектроники, скорее всего промежуточный этап. Многие новые тенденции до конца не оформились. Но ясно несколько моментов. Во-первых, повышается уровень монополизации рынка микроэлектроники с производственной точки зрения. Среди кремниевых заводов произошло расслоение – крупнейшие из них оказались способными выдерживать гонку масштабирования и даже быть впереди по технологическому уровню крупнейших IDM, а более мелкие ушли в ниши рынка. Во-вторых, повышаются входные барьеры для желающих появиться на данном рынке. В-третьих, значение гарантированного доступа к современным производственным мощностям микроэлектроники становится фактором не только конкурентоспособности, но и выживания как fabless-фирм, так и производителей электронных систем. Наконец повышается значение изделий микроэлектроники для обеспечения задач модернизации экономики, обеспечения национального суверенитета и т. п.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА КРЕМНИЕВЫХ ЗАВОДОВ

Динамика развития рынка кремниевых заводов и перспективы до 2025 года

По данным корпорации IC Insights, продажи кремниевых заводов в 2021 году должны увеличиться до 107,2 млрд долл. (здесь и далее итоговых данных за 2021 год пока нет). В 2025 году этот рынок достигнет 151,2 млрд долл., а среднегодовые темпы прироста продаж в сложных процентах (CAGR) за 2021–2025 годы составят 11,6% (рис. 1). Рынок состоит из «чистых» кремниевых заводов (TSMC, GlobalFoundries, UMC, SMIC и т. д.) и интегрированных производителей (IDM – Samsung и Intel), оказывающих услуги кремниевых заводов в дополнение к производству собственных ИС.

Рост рынка кремниевых заводов обусловлен устойчивым спросом на современные компьютерные и

прикладные процессоры, используемые в сетях и центрах обработки данных (ЦОД), новых 5G-смартфонах и ИС, применяемых в других быстрорастущих сегментах рынка, таких как робототехника, самоуправляемые транспортные средства и перспективные системы помощи водителю (ADAS), искусственный интеллект, машинное обучение и системы распознавания изображений. Ожидается, что в 2025 году рынок кремниевых заводов достигнет 151,2 млрд долл., а CAGR за период 2021–2025 годов составят 11,6%.

Продажи «чистых» кремниевых заводов в этом году вырастут на 24% до 87,1 млрд долл. (рост в 2020 г. – 23%), а в 2025 году составят 125,1 млрд долл. (CAGR = 12,2%). Доля «чистых» кремниевых заводов увеличится с 81,2 до 82,7%. Эти поставщики вкладывают значительные средства в создание новых мощностей. Рост рынка IDM, оказывающих услуги кремниевых заводов, в 2021 году должен составить 18% (до 20,1 млрд долл.), а в 2025 году достигнет 26,1 млрд долл. при CAGR = 9%. Большую часть этого сегмента занимает Samsung Foundry (автономное подразделение Samsung). Корпорация Intel в рамках новой стратегии IDM 2.0 планирует стать крупным поставщиком услуг кремниевых заводов [1].

Что касается структуры рынка кремниевых заводов по изготовителям, то здесь интерес представляют оценки ресурса TrendRorce (рис. 2). Некоторые различия в объемах доходов по сравнению с данными IC Insights объясняются несовпадениями в подходах, а также тем, что исследование IC Insights было опубликовано в сентябре, а оценки TrendForce – в апреле 2021 года. Специалисты TrendForce отмечают, что примечательным явлением в бизнесе кремниевых заводов стал их выход в сектор услуг с использованием перспективных методик корпусирования ИС [2].



Рис. 1. Динамика и прогноз доходов кремниевых заводов

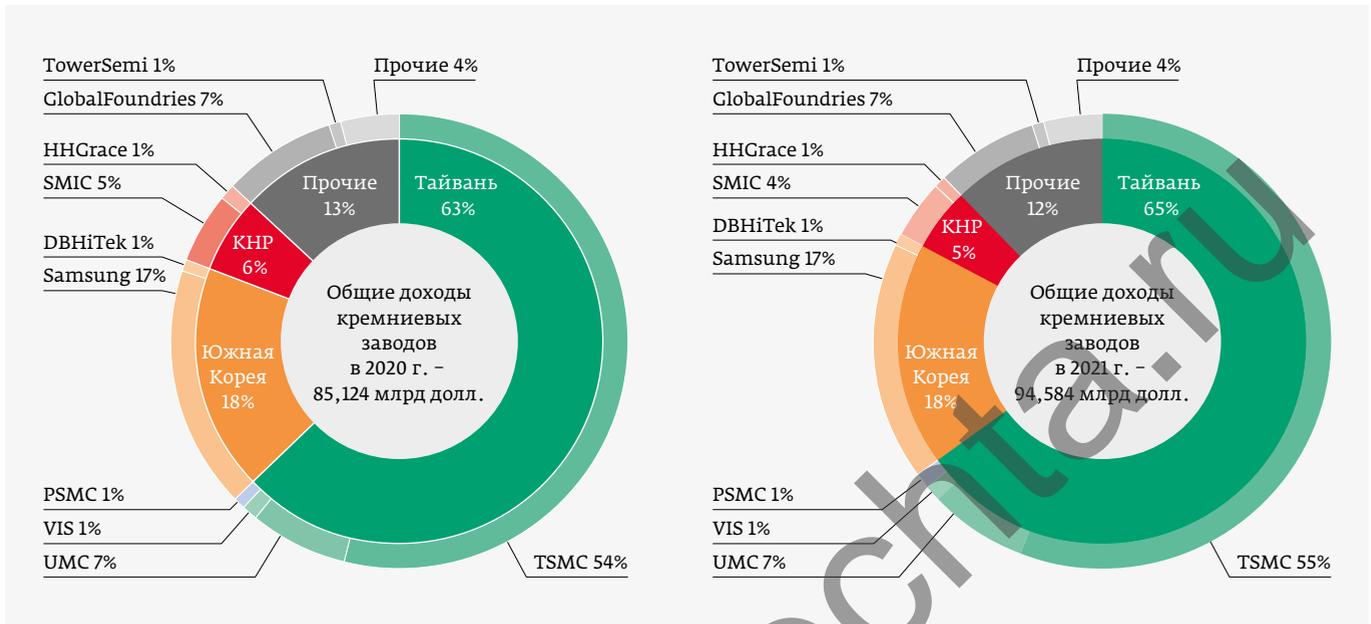


Рис. 2. Структура доходов кремниевых заводов в 2020–2021 годах

Также интересен еще один, теперь декабрьский, прогноз IC Insights. По его данным мировые капиталовложения в полупроводниковую промышленность в 2021 году вырастут на 34% и составят 152 млрд долл. (в 2020 г. – 113,1 млрд долл.). Это самый высокий прирост с 2017 года (+41%). На сегмент кремниевых заводов придется 35% капиталовложений – в основном это затраты на новые заводы и оборудование для 7/5/3-нм процессов, что подчеркивает растущую зависимость отрасли от этой бизнес-модели. На долю TSMC, крупнейшего кремниевого завода в мире, в этом году придется 57% от 53 млрд долл. капиталовложений этого сегмента. Капиталовложения SMIC из-за санкций США сократятся на 25% – до 4,3 млрд долл. [3].

Кратко о развитии индустрии кремниевых заводов

В течение многих лет кремниевые заводы предоставляли услуги контрактного производства в таких секторах, как аналоговые приборы, КМОП-формирователи сигналов изображения, приборы на составных (сложных) полупроводниковых материалах, логические приборы, MEMS и радиоприборы. Для каждого из этих секторов кремниевые заводы разрабатывают специализированные технологические процессы. Крупнейшие поставщики, такие как GlobalFoundries, Samsung Foundry, SMIC, TSMC и UMC, действуют во многих технологических сегментах. Большинство же кремниевых заводов специализируется в одной или нескольких областях.

Долгое время IDM по технологическому уровню превосходили кремниевые заводы. Так, в 2001 году действовало

18 IDM, заводы по обработке пластин которых использовали передовые на тот момент 130-нм технологии. В то же время несколько кремниевых заводов производили ИС для недавно возникших fabless-фирм по более зрелым процессам.

К 2010 году стоимость производственных мощностей, разработки новых технологических процессов и проектирования ИС увеличилась настолько, что многие IDM оказались не в состоянии позволить себе такие расходы. Многие из них или перешли на fab-lite* -модель, или превратились в fabless-фирмы, некоторые покинули бизнес в области полупроводниковых приборов.

Следующим крупным рубежом стало освоение 20-нм технологического уровня, когда традиционные

* Fablette (fab-lite) – так называемая стратегия «легких активов», использовавшаяся IDM в двух вариантах.

1. На уровне топологий до 90–65 нм предусматривала продолжение производства на собственных мощностях только новейших ИС (с высокой добавленной стоимостью) по наиболее передовым процессам; производство ИС со средним и меньшим уровнем добавленной стоимости передавалось кремниевым заводам. При переходе на топологии 45 нм и менее работать продолжали только наиболее передовые и рентабельные линии, линии под топологии 45 нм и менее не строились. Это промежуточный этап при переходе от IDM к fabless-фирме (пример – ADI).

2. При переходе на топологии 45–32 нм и менее оставлялись только новейшие опытно-экспериментальные мощности для отработки перспективных технологий (FD SOI например), а серийное производство отдавалось кремниевым заводам (пример – STMicroelectronics).

Таблица 1. Капиталовложения TSMC в 2020–2024 годах

Период	Объем капиталовложений, предназначение
2020 год	17,2 млрд долл., расширение и модернизация мощностей, НИОКР
2021 год	От 25 до 28 млрд долл., расширение, создание и модернизация мощностей (включая начало строительства завода в Аризоне), закупка оборудования, НИОКР
2022 год	От 40 до 44 млрд долл., создание новых мощностей, модернизация существующих
2021–2024 годы	100 млрд долл., строительство новых мощностей (включая завод в Аризоне за 12 млрд долл.), закупка оборудования, обучение персонала, НИОКР

планарные транзисторы перестали отвечать ужесточающимся требованиям разработчиков и производителей конечных электронных систем. Поэтому Intel в 2011 году на уровне 22-нм процесса представила новую транзисторную архитектуру – FinFET. Кремниевые заводы представили FinFET-технологию с 16/14-нм проектными нормами три года спустя. FinFET обеспечивают лучшую производительность и меньший статический ток утечки, чем планарные транзисторы. Но FinFET также труднее производить и масштабировать на каждом новом технологическом уровне (с меньшими проектными нормами). Соответственно, резко возросли затраты на НИОКР в области технологических процессов, а цикл перехода на новый технологический уровень увеличился с 18 до 30 месяцев и более.

С появлением FinFET корпорация Intel расширила свое лидерство на рынке микропроцессоров и технологических процессов. Стремясь использовать эту технологию на новых рынках, Intel в 2010/2011 годах вышла на рынок услуг кремниевых заводов и добилась некоторого успеха. В то время она производила на основе своего 22-нм FinFET-процесса FPGA различных производителей. Позже Intel выпустила 14-нм ПЛИС Altera (в 2015 году Intel поглотила фирму Altera). Доля Intel на рынке услуг кремниевых заводов была крошечной, но корпорация представляла реальную угрозу из-за своего технологического лидерства. Это изменилось в 2016 году, когда Intel впервые представила свой 10-нм FinFET-процесс. Корпорация столкнулась с задержками при его освоении и отгрузила первые ИС только в 2019 году – более чем на два года позже, чем ожидалось. При этом в 2018 году TSMC представила первый в мире 7-нм FinFET-процесс, за ней последовала корпорация Samsung (10-нм Intel эквивалентен 7-нм процессам кремниевых заводов). То есть эти кремниевые заводы стали предоставлять 7-нм, а теперь и 5-нм ИС конкурентам Intel. Таким образом, конкуренты Intel внезапно получили преимущество в области технологических процессов.

2018 год стал поворотным годом и по другим причинам. Затраты на производство ИС продолжали расти, но отдача от масштабирования снижалась. Из-за этого GlobalFoundries и UMC прекратили свои разработки процессов с проектными нормами 7-нм и менее, ограничившись технологическим уровнем 16/14 нм и выше. Примерно в это же время корпорация Intel вышла из бизнеса кремниевых заводов. Причина неудачи – недостаточная ориентация на обслуживание клиентов [1].

СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ КРЕМНИЕВЫХ ЗАВОДОВ TSMC: наращивание мощностей, расширение сфер деятельности и опасения относительно КНР

Весной 2021 года TSMC заявил о намерении в течение следующих трех лет затратить на НИОКР и расширение производственных мощностей около 100 млрд долл. (табл. 1). По данным новостного агентства Bloomberg, заводы по обработке пластин TSMC с апреля 2020 года работают с более чем 100%-ной загрузкой производственных мощностей, но спрос на полупроводниковые приборы (включая ИС) по-прежнему превышает предложение [4]. В ноябре было заявлено, что капиталовложения 2021 года составят от 25 до 28 млрд долл. (2020 г. – 17,2 млрд долл.). Также в ноябре TSMC заявила о размещении двух выпусков корпоративных облигаций с целью

ООО СМП

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные компоненты
для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Катушки индуктивности на токи до 10 А
- U FL разъемы и pigtail со SMA

Москва, Ленинградский пр. - 80 к. 22, e-mail: sales@smd.ru
Тел: (495) 358-7386, (495) 943-6244, (495) 943-8780

привлечения 9 млрд долл. на расширение производственных мощностей и природоохранные меры. Инвестиции 2021 года также предполагают создание в Аризоне завода по обработке 300-мм пластин и выпуску 5-нм ИС – уже приобретено 445,15 га земли недалеко от г. Финикс [5]. Наконец предполагается, что с 2022 года TSMC не будет снижать цены на обработанные пластины (со сформированными кристаллами ИС) в течение всего года [4]. Отмечается, что TSMC все более вовлекается в центр геополитической борьбы за обеспечение поставок ИС для всего диапазона электроники – от автомобильной электроники до смартфонов. Власти Запада, включая США и ФРГ, недавно призвали Тайвань помочь с решением проблемы дефицита ИС [5].

Таким образом, развитие TSMC и тайваньской микроэлектроники в целом вмешивается геополитика. В 2021 году особо активно стали муссироваться слухи о захвате «Поднебесной» Тайваня – в случае провозглашения независимости (ориентировочной датой называется 2025 год) [7]. По мнению IC Insights, серьезные торговые санкции, особенно в области технологий микроэлектроники, которые США ввели в отношении Huawei, крупнейшей китайской электронной компании, и в отношении SMIC, крупнейшего китайского кремниевого завода, заставили «Поднебесную» задуматься о сохранении конкурентоспособности в сфере микроэлектроники и электроники. Становится все более очевидным, что ответ Китая на этот вопрос сосредоточен на воссоединении с ним Тайваня [8]. КНР со своей стороны подтверждает, что считает остров своей неотъемлемой провинцией и готова применить силу. Следует учитывать:

- крупнейший в мире кремниевый завод, тайваньская корпорация TSMC, сейчас обладает наибольшей долей мощностей (63%) по изготовлению ИС с наиболее перспективными проектными нормами – менее 10 нм (единственной корпорацией, составляющей ей конкуренцию в данной области, является южнокорейская Samsung – 37%);
- на острове расположено 22% мировых мощностей по обработке 300-мм пластин (большинство принадлежит TSMC) – по этому показателю Тайвань уступает только Южной Корее, доля которой составляет 25% (США – 11%);
- около 80% всех мощностей по производству ИС на Тайване представлено кремниевыми заводами, а, по оценкам, тайваньские «чистые» кремниевые заводы (TSMC, UMC, Powerchip, Vanguard и т. д.) в 2021 году должны были обеспечить (данные пока не появились) почти 80% общих доходов мировой индустрии «чистых» кремниевых заводов.

Последнее очень важно на фоне тенденции превращения кремниевых заводов в основную производственную базу мировой микроэлектроники, а соответственно,

и главный источник ИС для отраслей радиоэлектронного комплекса (и других отраслей). Установление контроля КНР над Тайванем – один из худших кошмаров Вашингтона. Поэтому еще год назад США принуждали TSMC согласиться на создание двух заводов по обработке 300-мм пластин в Аризоне, а сейчас, при обострении и китайско-тайваньских отношений, TSMC уже сама говорит о шести заводах/технологических линиях и переезде семей тайваньских специалистов. Этот момент также очень важен – речь идет об организации заблаговременной эвакуации наиболее ценных кадров с острова. По всей видимости, бегство из Афганистана и его последствия начинают учитываться.

Последнее утверждение подкрепляется тем фактом, что власти г. Финикс и представители штата Аризона (при поддержке федерального правительства) заключили в августе 2021 года сделку с Управлением содействия промышленному сотрудничеству между Тайванем и США (поддерживается Министерством экономики Тайваня) с целью сделать этот штат более привлекательным для микроэлектроники Тайваня на фоне первоначальных (2020 года) планов TSMC построить в Финиксе завод по обработке 300-мм пластин и выпуску 5-нм ИС стоимостью 12 млрд долл.

В районе Финикса уже находятся крупные заводы по производству ИС корпораций Intel, NXP Semiconductors и ON Semiconductor. Цель американцев – разместить как можно больше поставщиков TSMC и других связанных с ними компаний в этом районе. Около 40 фирм уже оценивают Аризону как место возможных инвестиций. Власти Финикса работают со школами и местными органами власти с целью облегчения процесса переселения семей тайваньских специалистов, переезжающих в этот район [6].

США не единственное место за пределами Тайваня, где TSMC планирует разворачивать новые производственные мощности. В сентябре 2021 года TSMC и корпорация Sony Semiconductor Solutions договорились создать дочернюю корпорацию Japan Advanced Semiconductor Manufacturing (JASM) в г. Кумамото (Япония). Новая фирма начнет оказывать услуги кремниевого завода с конца 2024 года. Цель – удовлетворить высокий спрос на специализированные 28-нм и 22-нм технологии. Общий объем инвестиций оценивается в 7 млрд долл., месячная мощность обработки – 45 тыс. пластин диаметром 300 мм, численность занятых – 1,5 тыс. человек. Японское правительство предоставило субсидии на реализацию проекта, но их величина не разглашается. Инвестиции Sony оцениваются в 0,5 млрд долл. или менее 20% акционерного капитала JASM. Инвестиции TSMC уже поступили в Японию, они не включены в 100 млрд долл., которые TSMC планирует потратить на расширение своих мощностей в ближайшие три года [7].



С 23 февраля!

С Днём Защитника Отечества!

От всей души поздравляем и желаем вам и вашим семьям крепкого здоровья, счастья, любви!



ПРОЕКТИРОВАНИЕ



ГЕНЕРАЦИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ



КОНТРОЛЬ
ФОТОШАБЛОНОВ



РЕМОНТ
ФОТОШАБЛОНОВ



ФОТОЛИТОГРАФИЯ



КОНТРОЛЬ
ПЛАСТИН



СБОРКА ИЗДЕЛИЙ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0,35, 0,6 μm
- Высокая точность совмещения
- $\varnothing 200, 150, 100 \text{ мм}$



ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина — шаблон



КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом D2DB, D2D
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0,15/ 0,3/ 0,5 μm min элемент
- Размер шаблона до 9"x9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты

КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



СТЕППЕРЫ

- Проектная норма 0,35, 0,8 μm
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 200, 150, 100 \text{ мм}$
- Твердотельный источник света



КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



ЗОНДОВЫЙ КОНТРОЛЬ

- $\varnothing 200, 150, 100 \text{ мм}$
- $\pm 4 \mu\text{m}$ погрешность контактирования
- Ручное / полуавтоматическое / автоматическое оборудование



РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИН И ПОДЛОЖЕК

- $\varnothing 300, 200, 150, 100 \text{ мм}$
- 2 независимые зоны разделения в одной установке
- 2,4 кВт мощность электрошпинделя
- Полуавтоматическое / автоматическое оборудование



Создаем традиции будущего!

- Единое таможенное пространство
- 59 лет опыта в разработке и производстве прецизионного опико-механического и сборочного оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства, высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования, адаптированного для Российского рынка, программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GenlSys (Германия)

Республика Беларусь
220033, г. Минск
Партизанский пр-т, 2

тел: (+375 17) 226 09 82
(+375 17) 223 22 26
факс: (+375 17) 226 12 05

office@kbtem-omo.by
kbtem.omo@gmail.com
www.planar.by



Таблица 2. Ближайшие планы развития GlobalFoundries

Мероприятие	Объем инвестиций / ожидаемый доход, примечания
Развитие Fab8 (Малта, штат Нью-Йорк)	1 млрд долл., увеличение мощности по обработке 300-мм пластин на 150 тыс. шт. в год
Создание новой линии на заводе в Сингапуре	Около 1,5 млрд долл., обработка 300-мм пластин, линии сборки / корпусирования и тестирования
Расширение производственного комплекса в ФРГ (достался от AMD)	1 млрд долл., модернизация и расширение существующих мощностей
Первоначальное публичное предложение акций (IPO)	Предложение 55 млн обыкновенных акций. Ожидаемая стоимость IPO – 20,0 млрд долл.

GlobalFoundries – дальнейшее развитие и долгожданный выход на IPO

Как известно, в 2008 году в результате серии сделок на общую сумму около 1 млрд долл., ATIC, дочерняя компания Mubadala Investment (фонд национального благосостояния, государственный инвестиционный фонд эмирата Абу-Даби), создала корпорацию GlobalFoundries, приобретя производственные мощности американской корпорации AMD (последняя стала fabless-фирмой, то есть «чистым» проектировщиком ИС). В 2009 году ATIC купила сингапурский кремниевый завод Chartered за 1,8 млрд долл. и объединила его с GlobalFoundries. В 2014 году GlobalFoundries приобрела полупроводниковый бизнес IBM.

В настоящее время GlobalFoundries является вторым по объему продаж (после TSMC) «чистым» кремниевым заводом. На нем работает более 15 тыс. сотрудников по всему миру, из них 7 тыс. человек по всей территории США и почти 3 тыс. человек в ее производственном комплексе, центре НИОКР и штаб-квартире в г. Малта. За последнее десятилетие корпорация инвестировала в свой завод Fab 8 более 15 млрд долл. с целью поддержки инновационного процесса и увеличения производственных мощностей. GlobalFoundries является аккредитованным поставщиком современных полупроводниковых приборов для правительственных ведомств США, включая министерство обороны. Отмечается, что поставки полупроводниковых приборов GlobalFoundries осуществляются в соответствии с Правилами международной торговли оружием (ITAR*) США. Кроме того, корпорация в рамках своей программы GF Shield следует самым высоким отраслевым, потребительским и государственным критериям безопасного производства по всему миру.

* ITAR (International Traffic in Arms Regulations) – Правила международной торговли оружием, свод нормативных актов, разработанный госдепартаментом США в целях контроля за экспортом товаров и технологий, связанных с обороной и безопасностью.

Во второй половине июля корпорация GlobalFoundries объявила о планах расширения своего самого современного производственного комплекса в г. Малта (штат Нью-Йорк). Эти планы подразумевают немедленные инвестиции в расширение мощностей Fab 8 для решения проблемы глобального дефицита ИС, а также строительство нового завода в том же комплексе, что удвоит его производственную мощность.

Немедленные инвестиции в размере 1 млрд долл. позволят увеличить число обрабатываемых на Fab 8 пластин диаметром 300 мм на 150 тыс. в год. После этого планируется построить новый завод, благодаря чему прямая занятость увеличится более чем на одну тысячу высокотехнологичных рабочих мест, а косвенная занятость у смежников – еще на несколько тысяч (включая высокооплачиваемые строительные работы в регионе). Следуя успешно опробованной при создании Fab 8 инвестиционной модели, GlobalFoundries планирует финансировать сооружение нового объекта за счет частно-государственных партнерств, включая своих клиентов, федеральные и государственные инвестиции. Новый завод будет выпускать многофункциональные ИС с повышенным уровнем защиты для таких быстро растущих сегментов рынка, как автомобильная электроника, 5G-сети / средства связи и Интернет вещей. На новом заводе также будут поддерживаться требования безопасности цепочки поставок – в том числе с точки зрения национальной безопасности США.

Эти инвестиции в расширение производственной базы GlobalFoundries в США являются частью более широких планов (табл. 2). Помимо развития производственного комплекса на Малте предусмотрено строительство новой линии на заводе по обработке пластин в Сингапуре и инвестиции в размере 1 млрд долл. для расширения производственного комплекса в Германии.

Как известно, в январе 2021 года в США вступил в силу «Закон о создании полезных инициатив по стимулированию разработки и производства полупроводниковых

приборов в Америке» (Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, CHIPS for America Act). Этот закон, а также ряд других предусматривают выделение 52 млрд долл. на расширение производственной базы микроэлектроники на территории США, а также на проведение перспективных НИОКР в области полупроводниковых приборов. Руководство GlobalFoundries надеется на предусмотренные законодательно субсидии – как для расширения мощностей Fab 8, так и для строительства нового завода [9].

Также GlobalFoundries расширяет сотрудничество с Пентагоном. В феврале 2021 года было сформировано стратегическое партнерство с МО США. Цель – обеспечить поставки военным подрядчикам безопасных и надежных полупроводниковых решений, производимых на Fab 8. Эти ИС, реализованные на 45-нм технологической платформе «кремний-на-изоляторе» (КНИ/SOI), будут использоваться в некоторых наиболее чувствительных приложениях наземных, воздушных, морских и космических систем. Соглашение стало возможным благодаря использованию на Fab 8 классификационных номеров экспортного контроля в соответствии с Правилами управления экспортом (EAR) и ITAR. Первые ИС по этому соглашению планируется начать поставлять в 2023 году, для чего уже оформлена «Доверенная аккредитация» МО США для Fab 8 [10].

В декабре 2021 года GlobalFoundries объявила об увеличении поставок ИС по заказам корпорации AMD (бывший партнер – сооснователь GlobalFoundries как совместного предприятия, позднее вышедший из СП) в соответствии с «Соглашением о поставках (обработанных) пластин» (WSA) и продлении условий соглашения до 2025 года. Соглашение также расширяет рамки партнерства – к производимым для AMD ИС теперь относятся микросхемы для центров обработки данных (ЦОД), персональных компьютеров, встраиваемых приборов / систем и других быстро развивающихся рынков.

GlobalFoundries изготавливает высокопроизводительные ИС для AMD уже более 12 лет, и обновленное соглашение позволит AMD приобрести в период 2022–2025 годов у GF обработанных пластин (со сформированными кристаллами ИС) примерно на 2,1 млрд долл. Спрос на ИС быстро растет и GlobalFoundries реагирует на это посредством ряда стратегических долгосрочных соглашений с существующими и новыми заказчиками, а также одновременным расширением производственных мощностей для удовлетворения спроса [11].

Наконец, в октябре 2021 года корпорация GlobalFoundries приступила к первичному публичному размещению (IPO) 55 млн своих обыкновенных акций. Корпорация преобразуется в открытое акционерное общество. Сама GlobalFoundries предлагает 33 млн акций, а Mubadala Investment – 22 млн акций. По оценкам, начальная

цена IPO составит от 42 до 47 долл. за акцию. Mubadala рассчитывает предоставить гарантам размещения акций 30-дневный опцион на покупку до 8,25 млн дополнительных обыкновенных акций по цене IPO за вычетом скидок и комиссий за гарантирование размещения (андеррайтинг).

Подготовка к IPO уже проводилась несколько лет назад при расширении производственных мощностей в штате Нью-Йорк, доставшихся от AMD. Но тогда GlobalFoundries сумела обойтись собственными средствами. Подготовка к текущему IPO началась год назад и его проведение связывалось с достижением определенных финансовых результатов [12].

Ранее информационное агентство Bloomberg оценивало ожидаемую стоимость IPO в 20 млрд долл. Отмечается, что более раннее осуществление IPO (первоначально оно планировалось на 2022 год) произошло из-за наблюдаемого дефицита ИС (продажи которых в 2021 году могут вырасти на 13% за счет повышения цен), обширной программы государственной поддержки полупроводниковой промышленности в США и высоких цен на акции [13].

Во второй части статьи будет рассмотрено развитие SMIC, крупнейшей в материковом Китае компании по производству полупроводников, Samsung Foundry и ее значение для реализации программы «Корейский полупроводниковый пояс». Также будут изложены планы использования Intel бизнес-модели кремниевого завода в рамках осуществления корпоративной «Стратегии IDM 2.0».

ЛИТЕРАТУРА

1. Foundry Market Tracking Toward Record-tying 23% Growth in 2021 // IC Insights, Research Bulletin, September 22, 2021. <https://www.icinsights.com/news/bulletins/Foundry-Market-Tracking-Toward-Recordtying-23-Growth-In-2021/>
2. LaPedus M. Foundry Wars Begin // Semiconductor Engineering. April 19th. 2021. <https://semiengineering.com/foundry-wars-begin/>

ООО "Руднев-Шиляев"

Разработка и производство:

- платы сбора данных
- измерительные приборы
- виброакустические системы
- инструментальные решения задач заказчика

Москва (495) 787-63-67
(495) 787-63-68

www.rudshel.ru
adc@rudshel.ru

3. Semi Capex on Pace for 34% Growth in 2021 to Record \$152.0 Billion // IC Insights, Research Bulletins, December 14, 2021.
<https://www.icinsights.com/news/bulletins/Semi-Capex-On-Pace-For-34-Growth-In-2021-To-Record-1520-Billion/>
4. **Manners D.** TSMC to spend \$100bn in three years. Electronics Weekly, 1st April 2021.
<https://www.electronicweekly.com/news/business/tsmc-spend-100bn-three-years-2021-04/>
5. **Patterson A.** TSMC to Raise \$9 Billion for Expansion Amid Shortages // EE Times, 02.11.2021.
<https://www.eetimes.com/tsmc-to-raise-9-billion-for-expansion-amid-shortage/>
6. Arizona group courts Taiwanese chip companies with new agreement following TSMC's investment in the state // South China Morning Post, 25 Aug, 2021.
<https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3146266/arizona-group-courts-taiwanese-chip-companies-new-agreement-following>
7. **Patterson A.** TSMC, Sony to Partner in \$7B Fab in Japan // EE Times, 11.09.2021.
<https://www.eetimes.com/tsmc-sony-to-partner-in-7b-fab-in-japan/#>
8. IC Industry at Heart of Possible China Takeover of Taiwan. IC Insights. Research Bulletin, October 13, 2021.
<https://www.icinsights.com/news/bulletins/IC-Industry-At-Heart-Of-Possible-China-Takeover-Of-Taiwan/>
9. GlobalFoundries Plans to Build New Fab in Upstate New York in Private-Public Partnership to Support U. S. Semiconductor Manufacturing // Semiconductor Digest. July 23. 2021.
<https://www.semiconductor-digest.com/globalfoundries-plans-to-build-new-fab-in-upstate-new-york-in-private-public-partnership-to-support-u-s-semiconductor-manufacturing/>
10. U. S. Department of Defense Partners with GLOBALFOUNDRIES to Manufacture Secure Chips at Fab 8 in Upstate New York // Semiconductor Digest. February 15. 2021.
<https://www.semiconductor-digest.com/u-s-department-of-defense-partners-with-globalfoundries-to-manufacture-secure-chips-at-fab-8-in-upstate-new-york/>
11. GlobalFoundries Announces Extension of AMD Wafer Supply Agreement to Guarantee Supply // Semiconductor Digest. December 28. 2021.
<https://www.semiconductor-digest.com/globalfoundries-announces-extension-of-amd-wafer-supply-agreement-to-guarantee-supply/>
12. GlobalFoundries Announces Launch of Initial Public Offering // Semiconductor Digest. October 19. 2021.
<https://www.semiconductor-digest.com/globalfoundries-announces-launch-of-initial-public-offering/>
13. **Manners D.** GloFo to IPO at a \$20bn valuation // Electronics Weekly. 9th April. 2021.
<https://www.electronicweekly.com/news/business/glofo-ipo-2bn-valuation-2021-04/>

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1600 руб.

ОСНОВЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ. СТАНДАРТЫ, КОНЦЕПЦИИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Белоус А. И., Солодуха В. А.

Эта книга фактически представляет собой научно-практическую энциклопедию по современной кибербезопасности. Здесь анализируются предпосылки, история, методы и особенности киберпреступности, кибертерроризма, киберразведки и киберконтрразведки, этапы развития кибероружия, теория и практика его применения, технологическая платформа кибероружия (вирусы, программные и аппаратные трояны), методы защиты (антивирусные программы, проактивная антивирусная защита, кибериммунные операционные системы). Впервые в мировой научно-технической литературе приведены результаты системного авторского анализа всех известных уязвимостей в современных системах киберзащиты – в программном обеспечении, криптографических алгоритмах, криптографическом оборудовании, в микросхемах, мобильных телефонах, в бортовом электронном оборудовании автомобилей, самолетов и даже дронов.

Здесь также представлены основные концепции, национальные стандарты и методы обеспечения кибербезопасности критических инфраструктур США, Англии, Нидерландов, Канады, а также основные международные стандарты. Фактически в объеме одной книги содержатся материалы трех разных книг, ориентированных как на начинающих пользователей, специалистов среднего уровня, так и специалистов по кибербезопасности высокой компетенции, которые тоже найдут здесь для себя много полезной информации.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2021. – 482 с.,
ISBN 978-5-94836-612-8

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru

ТЕСТПРИБОР

СВЧ И ВЧ КОМПОНЕНТЫ

ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



• Усилители



• Смесители и умножители частот



• Частотные генераторы



• Электромеханические переключатели



• Волноводы и коаксиально-волноводные переходы

В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИЯ ВЕДУЩИХ КОМПАНИЙ - ЛИДЕРОВ В ОБЛАСТИ СВЧ И ВЧ КОМПОНЕНТОВ

Специалисты компании «ТЕСТПРИБОР» окажут помощь и поддержку:

- в выборе изготовителя и подборе аналогов;
- в составлении технического задания и изготовлении продукции по индивидуальным требованиям заказчика;
- в логистике;
- в проведении тестирования и испытаний.

Новое поколение оборудования в «А-КОНТРАКТ» – больше возможностей для клиентов

С. Фёдоров¹

УДК 621.3

Компания «А-КОНТРАКТ» – один из крупнейших российских контрактных производителей электроники – постоянно совершенствует технологии и обновляет оборудование. В 2021 году она продолжила плановую модернизацию оборудования, что расширило возможности предприятия по развитию новых услуг в области контрактного производства. В данной статье речь пойдет о проделанной работе и о том, какую выгоду на основе полученных нами результатов могут извлечь наши заказчики.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВЩИКИ КОМПОНЕНТОВ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Основным событием прошедшего года для нашей компании, несомненно, является приобретение и введение в эксплуатацию новых автоматов ASM Siplace для установки поверхностно-монтируемых компонентов (SMD).

С момента основания и до недавнего времени для поверхностного монтажа компонентов в «А-КОНТРАКТ» использовались установщики Siemens Siplace. Это надежные и производительные машины, но они перестали соответствовать требованиям современного контрактного производства – в основном из-за недостаточной гибкости при переналадке и невозможности интеграции в информационные системы, используемые в нашей компании. В поисках оптимальной замены мы вместе с поставщиками и производителями оборудования провели большую работу, результатом которой стало решение о приобретении установщиков ASM Siplace SX2. Их производитель, ASM Pacific Technology, десять лет назад выкупил у Siemens бизнес по производству оборудования для установки компонентов и интегрировал его в свою структуру под названием ASM Assembly Systems. Как следствие, в новых моделях сохраняется преемственность в технических решениях и программном обеспечении, что, несомненно, упростило нам переход на новую платформу.

Установщики ASM Siplace SX2 полностью соответствуют нашим требованиям текущим и на перспективу. Кроме того, совокупность их технических решений позволяет справиться с одной из проблем контрактного

производства – осуществление частых переналадок оборудования, из-за того, что контрактные производители изготавливают обычно не свои изделия, а широкую номенклатуру изделий заказчиков.

Как правило, выбор конфигурации оборудования происходит из расчета максимальной производительности на примере нескольких изделий, находящихся в производстве на текущий момент и планируемых к выпуску в ближайшем будущем. На основе анализа отобранных изделий фиксируется необходимое количество установщиков в линии, формируется их конфигурация, для каждого из них задается некоторая специализация на установку компонентов определенного типа, рассчитывается количество питателей и т. д. Таким образом, на момент покупки в линию устанавливается оборудование с определенными свойствами, позволяющими обеспечить максимальную



Линия поверхностного монтажа с установщиками ASM Siplace SX2

¹ «А-КОНТРАКТ», директор по производству, www.a-contract.ru.

производительность изделий, на основе которых был сделан анализ. Очевидно, что необходимо планировать поступление заказов, но при этом невозможно гарантировать, что они осуществляются или объем изделий в заказе будет соответствовать заявленному ранее. Поэтому нужно иметь возможность при необходимости изменять конфигурацию оборудования.

Совокупность технических решений ASM позволяет изменять конфигурацию приобретенных нами установщиков за короткий промежуток времени. В частности, теперь мы можем за несколько минут поменять как порталы с головами, так и количество порталов на установщике и типы голов, что позволяет оперативно оптимизировать установщики под монтаж конкретных компонентов, сохранять высокую производительность линий поверхностного монтажа вне зависимости от выпускаемых изделий, а также обеспечивать высокую эффективность использования оборудования. При этом наши заказчики имеют возможность быстрее получить готовые изделия или производить у нас больше изделий за тот же промежуток времени.

Производительность обновленных линий поверхностного монтажа составляет 200 тыс. комп./ч. Мы имеем возможность выполнять монтаж широкой номенклатуры SMD-компонентов, производимых в настоящее время. Минимальный типоразмер компонентов – 0201 в метрической системе, максимальный размер – 200 × 125 мм, высота – до 50 мм, вес – до 240 г.

СИСТЕМЫ 3D-КОНТРОЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ

Логическим развитием идеи обновления установщиков поверхностного монтажа является внедрение в линии современных систем оптической инспекции.

Мы сохраняем фокус на производстве высокотехнологичных изделий, насыщенных электронными компонентами, а также эксплуатирующихся в сложных условиях. Обновив установщики SMD-компонентов, мы получили возможность выпускать такие изделия крупными сериями, а следовательно, появилась необходимость проведения в реальном времени контроля качества нанесения паяльной пасты (АИП, SPI) и автоматической оптической инспекции (АОИ). Для нашего предприятия оптимальным вариантом оказались установленные в линии поверхностного монтажа современные 3D-системы контроля нанесения паяльной пасты Koh Young модели KY8030-2. Инспекция паяльной пасты в 3D, в отличие от 2D, определяя объем паяльной пасты на контактных площадках печатных плат, позволяет выявлять контактные площадки с недостаточным или избыточным количеством паяльной пасты, что предотвращает формирование некачественных



Система АОИ Koh Young Zenith

паяных соединений. Наши АИП-системы имеют обратную связь с принтером трафаретной печати, что позволяет в реальном времени корректировать работу принтера по результатам инспекции.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНСПЕКЦИИ

Для 3D-инспекции монтажа электронных компонентов наша компания использует широко известные в мире системы АОИ Koh Young Zenith. 3D-технология обеспечивает высокое качество оценки паяных соединений, что, в свою очередь, значительно снижает количество ложных срабатываний АОИ. По результатам инспекции производится автоматическая разбраковка печатных плат на безусловно годные и те, которые требуют дополнительной проверки. Полученные данные сохраняются на сервере системы и могут быть использованы в дальнейшем для анализа статистики дефектов. Применение современных систем АИП и АОИ позволяет нам еще на шаг приблизиться к реализации идеологии бездефектного производства, которая подразумевает принятие мер, обеспечивающих корректировку процесса монтажа электронных изделий до возникновения дефектов.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ШАРИКОВЫХ ВЫВОДОВ

Необходимость исполнения требований ГОСТ Р 56427-2015 по замене шариковых выводов микросхем типа BGA на свинецсодержащие и выполняемые нами ремонтные операции по восстановлению шариковых выводов микросхем вынудили нас искать решение для автоматизации этого процесса. Изучив этот сегмент рынка, мы приобрели и внедрили систему STM-II установки шариковых выводов компании Shinapex (Япония),



которая позволяет в автоматическом режиме производить флюсование контактных площадок микросхем перед установкой шариковых выводов и непосредственно установку выводов с последующей инспекцией. Таким образом, используя технологию автоматизированного реболинга, компания «А-КОНТРАКТ» способна по требованию заказчиков произвести замену выводов BGA на свинецсодержащие для любых партий высоконадежных и сложных изделий. В случае ремонта клиентам больше не нужно заказывать новые дорогостоящие BGA-микросхемы: качество пайки восстановленных BGA-микросхем сопоставимо с исходной пайкой. Матрица выводов микросхемы может быть любой. Минимальный диаметр выводов составляет 0,2 мм, максимальный – 1,0 мм. Максимальный размер подложки микросхемы – 60 × 60 мм.

Мы не намерены останавливаться на достигнутом и готовы к дальнейшему развитию этого направления. В ближайших планах компании – модернизация участка прототипного и мелкосерийного производства, складского оборудования, а также информационных систем, которые мы собираемся еще глубже интегрировать с производственным оборудованием.

Система STM-II автоматизированной установки шариковых выводов от компании Shinarex

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

МОТОРЫ
РЕДУКТОРЫ
ДАТЧИКИ
КОНТРОЛЛЕРЫ
ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ИНЕЛСО

Поставщик электронных компонентов, электромеханических компонентов и готовых решений

inelso.ru +7 (812) 628-00-16 sales.inelso.ru

19-я Международная выставка технологий,
оборудования и материалов для производства
полупроводников, электронных компонентов
и систем

12-14 апреля 2022

Москва, Крокус Экспо

electrontechexpo.ru

Получите билет
по промокоду **magazine**
на electrontechexpo.ru



Многослойные печатные платы компании «ПСБ технологии»

А. Чернышов¹

УДК 621.3 | ВАК 05.27.01

ООО «ПСБ технологии» поставляет печатные платы уже более 20 лет. За это время компания зарекомендовала себя как производитель сложных и надежных изделий. Специалисты компании обеспечивают реализацию проектов даже, казалось бы, с технически невыполнимыми требованиями. О ряде достижений ООО «ПСБ технологии» по созданию многослойных печатных плат рассказывается в статье.

Рассмотрим несколько примеров печатных плат, изготовленных компанией «ПСБ технологии».

Пример 1. Толщина платы часто является непреодолимым препятствием для выполнения сложных многослойных проектов. В таких проектах часто требуется выполнение переходных отверстий с предельно малыми диаметрами. Но решение подобной задачи может упереться в пределы технологических возможностей выполнения сквозных металлизированных отверстий в плате большой толщины (табл. 1).

Как видно из табл. 1, отношение диаметра отверстия к толщине платы (aspect ratio) не является постоянным коэффициентом – оно увеличивается при уменьшении диаметра отверстия.

В отдельных случаях подобное ограничение можно обойти. Нами была изготовлена плата толщиной 1,5 мм с переходными отверстиями диаметром 0,15/0,3 мм (рис. 1). Ограничение по допустимой толщине платы для сквозных отверстий малого диаметра удалось обойти путем замены сквозных переходных отверстий на комбинацию скрытых отверстий между вторым и предпоследним слоями и лазерных микроотверстий с двух внешних сторон платы.

Если на плате есть BGA-компоненты и дифференциальные пары, проходящие на внутренние ряды выводов, то диаметры переходных отверстий составят 0,25–0,2 мм. При толщине платы 2,0–2,5 мм aspect ratio должно быть 1/10 или менее.

Параметры проекта получаются на пределе технологических возможностей производства, но, тем не менее, с большой вероятностью такой проект можно реализовать.

Пример 2. Технологически любая плата состоит из трех видов материалов: фольгированных ламинатов (ядер), препрегов (связующих прокладок без медной фольги) и слоев медной фольги (рис. 2). В структуре платы ядра и препреги чередуются, и это влияет на то, какие типы межслойных отверстий, каким образом и с какими диаметрами можно изготовить.

Типичный способ формирования слепых отверстий методом последовательного прессования предполагает, что отверстия в процессе изготовления выполняются

Таблица 1. Зависимость максимальной толщины платы от минимальных диаметров сквозных отверстий^{*, **}

Минимальный диаметр металлизированного отверстия в проекте, мм	Обычное производство		Передовое производство (advanced manufacture)	
	Aspect ratio	Максимальная толщина платы, мм	Aspect ratio	Максимальная толщина платы, мм
>0,4	1/20	8	1/20	8
0,4	1/16	6,4	1/16	6,4
0,35	1/12	4,2	1/16	5,6
0,3	1/12	3,6	1/12	3,6
0,25	1/10	2,5	1/12	3
0,2	1/8	1,6	1/12	2,4
0,15	1/8	1,2	1/10	1,2

^{*} У разных заводов-изготовителей указанные параметры могут отличаться.

^{**} Максимальное значение aspect ratio (отношение диаметра отверстия к толщине платы) для слепых лазерных микроотверстий – 0,75/1.

¹ ООО «ПСБ технологии», инженер, a.chernishov@pcbtech.ru.

Тип материала	Слой	Толщины исходных материалов, мкм	Финишная толщина фольги
Медь	1	12	35
Препрег		80	
Медь	2	18	18
Ядро FR4 1,2 мм	18/18 мкм	1 165	
Медь	3	18	18
Препрег		80	
Медь	4	12	35

Финишная толщина платы 1,5 мм ±10%

Рис. 1. Структура платы с заменой сквозных отверстий на комбинацию слепых и скрытых

сквозной сверловкой (всей структуры или отдельной ее части), поэтому взаимное пересечение несквозных отверстий будет технологически недопустимо (рис. 3). Метод последовательного прессования позволяет делать слепые

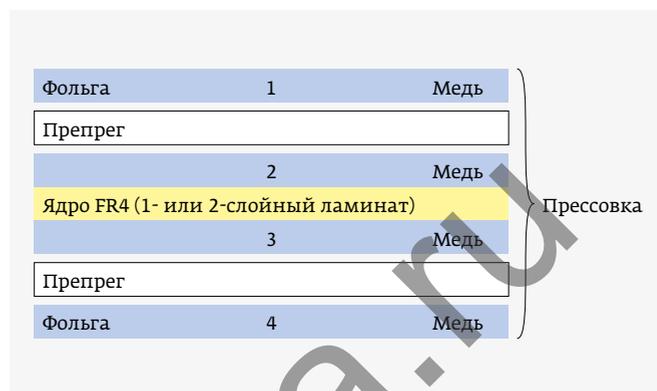


Рис. 2. Материалы в структуре платы

отверстия с диаметрами 0,15–0,4 (0,5) мм, что во многом соответствует платам только со сквозными отверстиями.

Существует и другой метод выполнения слепых отверстий – лазерная сверловка. В этом случае отверстия (обычно с диаметром 0,1 мм) изначально являются слепыми, поэтому для получения качественной металлизации они выполняются только в тонких препрегах (обычно



Рис. 3. Примеры структур со слепыми отверстиями «под последовательное прессование»: а – три этапа прессовки; б – пять этапов прессовки

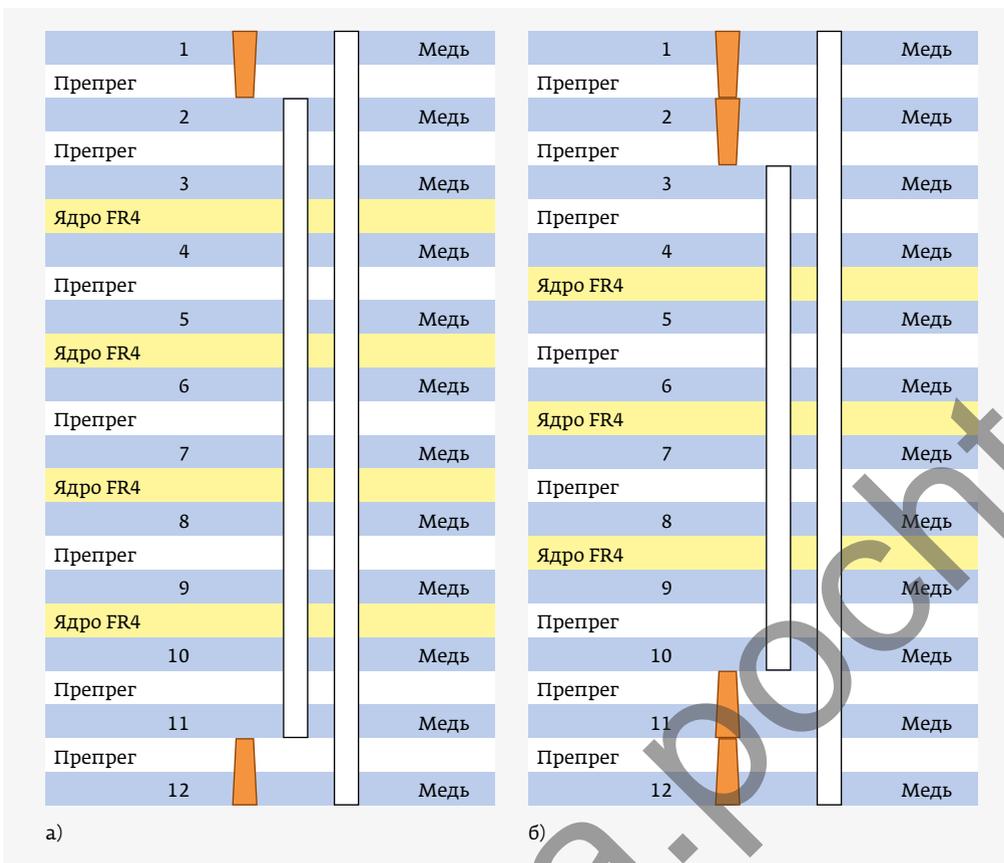


Рис. 4. Примеры стандартных структур со слепыми лазерными микроотверстиями:
 а – структура вида 1-N-1 – по одному слепому микроотверстию с каждой стороны платы;
 б – структура вида 2-N-2 – с двумя микроотверстиями с каждой стороны платы

70–80 мкм, поскольку толщина препрега должна быть меньше диаметра отверстия).

Слепые лазерные микроотверстия могут полностью заполняться медью в процессе металлизации, поэтому в сложной структуре их можно выполнять одно над другим (рис. 4).

Необходимость оптимальной трассировки всех проводников проекта может вступать в противоречие с технологическими возможностями производства, когда вследствие особенностей проекта нужно иметь возможность применять не просто несквозные отверстия, а, фактически, «с любого слоя на любой». В этом случае обычный метод последовательного прессования не позволит выполнить взаимно пересекающиеся типы отверстий, а стандартные структуры с лазерными микроотверстиями не обеспечивают всех вариантов возможных межслойных соединений. Изготовить платы со сложными типами межслойных соединений можно, совмещая два названных выше метода – последовательное прессование и лазерные микроотверстия. Переходные отверстия между более чем двумя соседними слоями изготавливают путем последовательного выполнения лазерных микроотверстий одного над другим в одну «стопку» – stacked microvias. При этом для обеспечения возможности выполнения одного отверстия над другим нижнее отверстие полностью заполняется медью в процессе металлизации.

Stacked micro-vias позволяют выполнить платы с самыми «невероятными» структурами, сложность которых ограничена только фантазией разработчика (рис. 5).

Структуру переходных отверстий в приведенном примере проекта сложно назвать оптимальной как для выполнения трассировки, так и в отношении технологичности и стоимости изготовления. Тем не менее, компания «ПСБ технологии» может обеспечить реализацию и таких сложных проектов (рис. 6, 7).

Пример 3. Проекты с нормами проводник/зазор до 3/3 мил (0,0762/0,0762 мм) уже давно не являются редкостью. Также часто применяются переходные отверстия 0,2/0,4 мм (отверстие/площадка) и даже 0,15/0,3 мм (для плат с допустимой максимальной толщиной). Номинальная ширина поясков металлизации таких отверстий составляет всего 0,1–0,075 мм, что предъявляет высокие требования к производству не только в отношении выполнения предельно узких проводников и зазоров, но и в плане точности сверловки.

Основываясь только на перечисленных допустимых предельных значениях параметров, может возникнуть соблазн «тотального» (по всей площади платы) применения этих параметров в проекте. При этом разработчики могут не знать, что у проектов есть и другие параметры, влияющие на сложность производства. Одним из таких параметров является зазор между краем отверстия

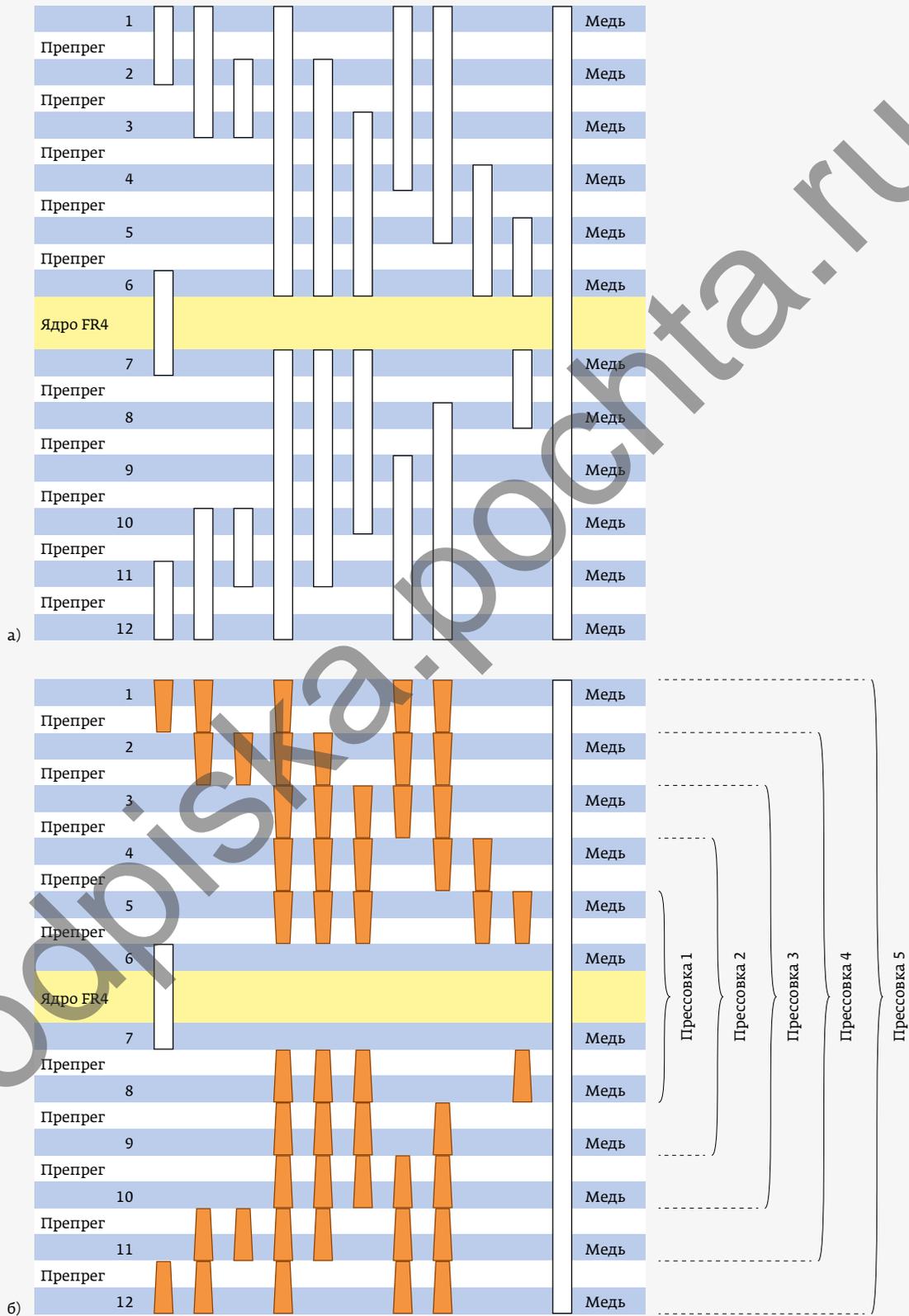


Рис. 5. Структура платы из реального заказа: а - структура платы в исходном проекте; б - структура платы, использованная при изготовлении

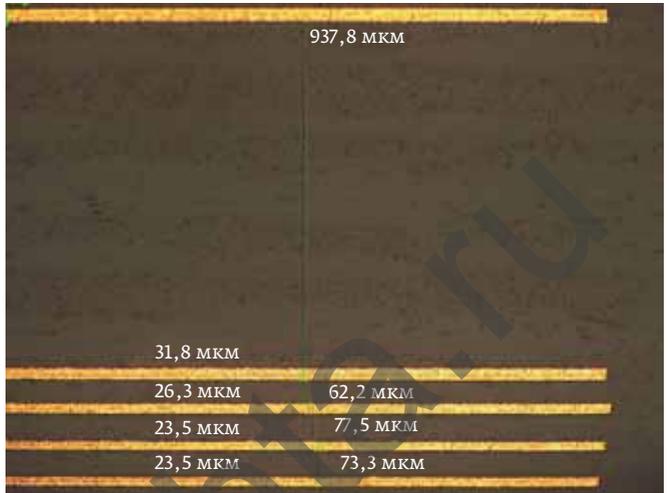
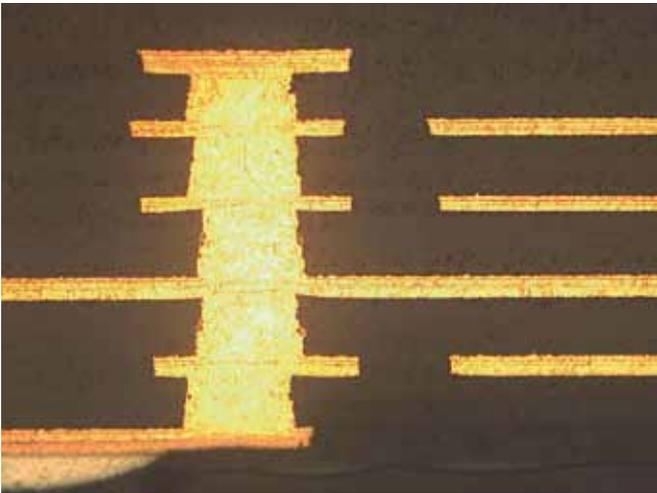


Рис. 6. Переходные отверстия, выполненные по технологии stacked micro-vias

Рис. 7. Микроструктура платы, изготовленной с применением технологии stacked micro-vias

в проекте и ближайшим проводником, полигоном или контактной площадкой другой цепи.

отверстия 0,2/0,4 мм (зазор 0,2 мм равен сумме зазора 0,1 мм и ширины пояска металлизации 0,1 мм). На негативных слоях питания зазор от отверстия до полигона другой цепи соответствует ширине пояска выреза вокруг неподключенного отверстия.

Для обычного производства зазор между краем отверстия в проекте и проводником другой цепи должен быть не меньше 0,25–0,2 мм. С учетом того, что диаметр сверла на 0,1–0,15 мм больше, чем номинальный диаметр отверстия, расчетный зазор получается меньше. Стандартная точность позиционирования отверстий до ±3 мил (~0,08 мм) может уменьшить зазор до предела, поэтому остаточная толщина диэлектрика между металлизацией отверстия и проводником в реальной плате может получиться очень небольшой.

Выявить нарушение в исходной программе очень сложно, поскольку нужные типы проверок могут просто отсутствовать. Удаляя контактные площадки (пояски металлизации) у переходных отверстий на внутренних слоях и выполняя при автоматизированной трассировке все зазоры по 75 мкм, можно легко получить зазор от проводника до отверстия без площадки в 75 мкм. При проверке соответствия проекта правилам проектирования (Design Rule Checking, DRC) зазор от края отверстия до проводника обычно не контролируется. При неудачных настройках

Зазор 0,2 мм от отверстия до проводника другой цепи соответствует ситуации размещения проводника с зазором 0,1 мм до пояска металлизации переходного

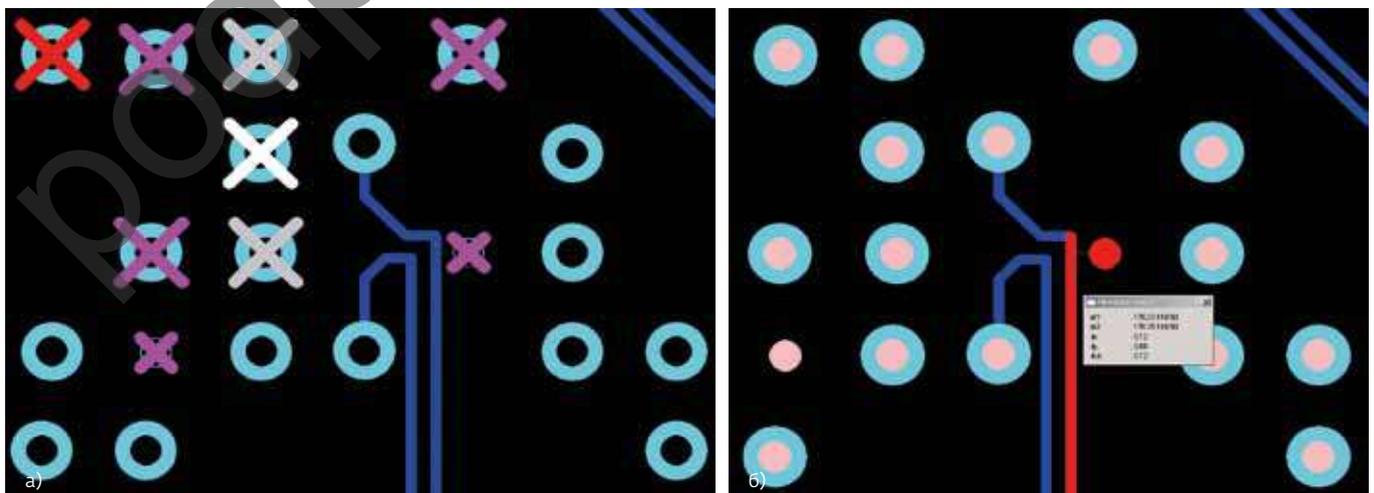


Рис. 8. Переходные отверстия без поясков металлизации: а – в программе проектирования; б – в программе проверки Gerber-файлов при подготовке к производству

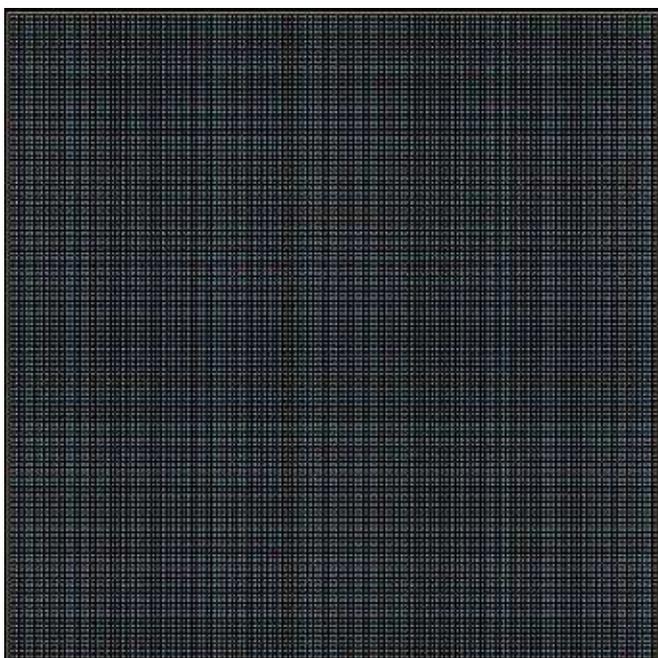


Рис. 9. Расположение отверстий (голубой цвет – слепые отверстия в слоях 5–8; малиновый – сквозные отверстия)

поясков отверстий и зазоров можно получить в многослойной плате до нескольких сотен нарушений зазора «край отверстия – проводник» (PTH to Copper) (рис. 8).

В отдельных случаях, по согласованию с заводом-изготовителем, зазор «край отверстия – проводник» может быть уменьшен до 0,175 мм или даже до 0,15 мм. Компании «ПСБ Технологии» удалось изготовить 8-слойные платы с зазорами «проводник – отверстие» 0,175 мм (рис. 9). В проекте присутствуют два типа слепых отверстий L1–L4 и L5–L8, выполненных методом последовательного прессования: сначала слоев 1–4 и 5–8, а потом общей прессовкой в одну структуру. При этом количество отверстий в проекте более 16000. Хотя сквозных отверстий только около 500, с учетом трех этапов прессовки и номинального зазора «край отверстия – проводник», равного 0,175 мм, сложность реализованного проекта была очень высокая.

При изготовлении плат мы готовы взяться за очень сложные заказы, но рекомендуем аккуратно подбирать параметры топологии и оценивать их в совокупности друг с другом. Предельные параметры следует использовать только в случае крайней необходимости и только в узких местах.

ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ORCAD CAPTURE И ORCAD PCB EDITOR

Митцнер К., Доу Б., Акулин А., Супонин А., Мюллер Д.
2-е изд.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2022. — Ок. 600 с.

Второе издание книги представляет собой практическую инструкцию, позволяющую использовать пакет программ OrCAD в проектировании и производстве печатных плат. Главы книги охватывают вопросы проектирования печатных плат, моделирования аналого-цифровых схем с помощью программы PSpice, разработки нестандартных компонентов схемы, моделирования линий передачи при проектировании и разводке схем и т. д.

Эта книга одинаково полезна как для начинающих, так и для опытных проектировщиков, так как она освещает базовые принципы и максимальные возможности программ для оптимального проектирования.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

Новое поколение решений для корпусирования интегральных схем

Часть 3

К. Фелтон¹, Д. Вертянов, к. т. н.², С. Евстафьев, к. т. н.³, В. Сидоренко⁴

УДК 004.9.621.31 | ВАК 05.13.12

Рост популярности гетерогенных конструкций корпусов требует наличия проверенных, автоматизированных систем проектирования с проверкой физических, электрических, тепловых и технологических параметров. В третьей части статьи описываются масштабируемость и широкий функционал средств проектирования, необходимый для разработки современных и будущих сложных корпусов ИС. Рассмотрены требования к передаче проекта на производство с предоставлением безошибочных данных по изготовлению и сборке, которые соответствуют технологическим правилам полупроводниковых фабрик или OSAT-компаний.

Многокристалльная разнородная (гетерогенная) и однородная (гомогенная) сборка кристаллов продолжает оставаться перспективным подходом More than Moore (Больше чем Мур) для уменьшения геометрических размеров и увеличения функциональности электронных устройств, а также остается проверенным способом интеграции нескольких кристаллов, изготовленных по различным технологическим процессам. Технологии гетерогенной интеграции предлагают решения по расширению функциональности электронных устройств, более быстрому выходу на рынок и устойчивости их к проблемам, связанным с выходом годных кристаллов.

В первой части статьи были рассмотрены и проанализированы основные проблемы современных технологий корпусирования ИС, апробированный маршрут проектирования, верификации, подготовки к производству гетерогенных многокристалльных и многоподложечных сборок по технологии цифрового двойника. Вторая часть статьи была направлена на многоуровневую и межплатформенную интеграцию (реализовать которую позволяет технология цифрового двойника) с анализом целостности сигналов на уровне корпуса микросхемы, микросборки, а также экстракция параметров поведенческой модели.

В этой части описываются масштабируемость и широкий функционал средств проектирования, необходимый для разработки современных и будущих сложных корпусов ИС, рассмотрены требования к проекту сложного корпуса микросхемы, микросборки для безошибочной передачи его на производство.

МАСШТАБИРУЕМОСТЬ И ШИРОКИЙ ФУНКЦИОНАЛ

Скорость внедрения инновационных гетерогенных технологий корпусирования возрастает по мере того, как увеличивается спрос на повышение производительности изделий, меньшую потребляемую мощность, меньшие габариты и большие функциональные возможности. Такие новые современные технологии корпусирования становятся все более сложными в проектировании, изготовлении и сборке, что потенциально ограничивает их доступность для всех, кроме ведущих полупроводниковых компаний и самых продвинутых дизайн-центров.

К счастью, комплексный маршрут проектирования и полного цикла производства и сбыта может сыграть важную роль в свободном распространении этих технологий, сделав их доступными для всех разработчиков и компаний – точно так же, как это получилось в полупроводниковой промышленности с внедрением технологических комплектов для проектирования (PDK), которые распространились повсеместно.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКТЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСОВ / СБОРОК

Автоматическая верификация ИС определяется правилами проектирования, созданными производителем

¹ Mentor, A Siemens Business, маркетинг-менеджер в области корпусирования, ru_soft@mentor.com.

² Институт НМСТ НИУ МИЭТ, руководитель УНЦ, vdv.vertyanov@gmail.com.

³ Институт НМСТ НИУ МИЭТ, доцент, madcatse@gmail.com.

⁴ АО «ЗНТЦ», руководитель центра корпусирования и 3D-сборки микросхем, sidorenko@zntc.ru.



- Обеспечивает эффективную капитализацию растущего рынка современных технологий корпусирования благодаря проверенным на производстве маршруту проектирования и комплекту данных по технологическим процессам сборки и монтажа (ADK)
- Предоставляет доступ к проверенной технологии комплексного проектирования, редактирования, верификации и передачи данных на производство с поддержкой ADK
- Повышает скорость внедрения технологий за счет применения проверенных комплектов для проектирования от полупроводниковых фабрик / OSAT-компаний / Mentor, обеспечивающих предсказуемость разработки и валидации

Рис. 1. Программа OSAT Alliance компании Mentor содействует более широкому освоению на рынке PADK

полупроводниковой продукции и предоставленными PDK для дизайн-центров. Поставщики EDA-решений квалифицируют свои наборы программного обеспечения в соответствии с этими правилами для обеспечения того, чтобы их средства верификации предоставляли проверенные, воспроизводимые, качественные результаты. Назначение комплекта правил проектирования в соответствии с технологическими процессами сборки и монтажа (Process assembly design kit – PADK) аналогично назначению комплекта PDK – обеспечение технологичности и производительности с использованием стандартизированных правил, обеспечивающих согласованность в рамках всего процесса изготовления.

Amkor, второй в мире поставщик аутсорсинговых услуг по сборке и тестированию изделий микроэлектроники (OSAT), является пионером в области PADK для современных технологий корпусирования ИС. В недавнем пресс-релизе Рон Хьюмеллер, корпоративный вице-президент по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, заявил: «Компания Amkor лидирует в технологии HDFO среди OSAT-компаний, и с появлением сложных микросхем, микросборок с большим количеством кристаллов мы отдали предпочтение созданию PADK на основе программных решений Mentor, что позволяет значительно сократить время цикла разработки».

Очевидно, что PADK должен включать в себя решения, как для физической верификации, так и для экстракции параметров, при этом должен также уметь работать с данными по тепловым характеристикам и напряжениям

в конструкции корпуса. Все эти процессы должны быть независимы от какого-либо конкретного средства разработки или процесса, используемого при проектировании сборки. Кроме того, комплексный PADK должен работать как с данными по кристаллу, так и с данными по корпусу. Это значит, что маршрут проектирования должен поддерживать несколько форматов. Наконец, все эти процессы верификации должны быть одобрены компаниями, занимающимися корпусированием микросхем, изготовлением микросборок (OSAT).

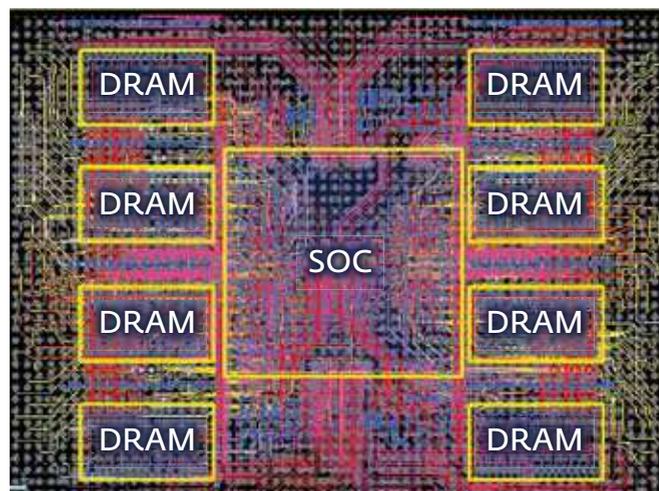


Рис. 2. Современные корпуса ИС следующего поколения представляют собой серьезный вызов традиционным средствам проектирования

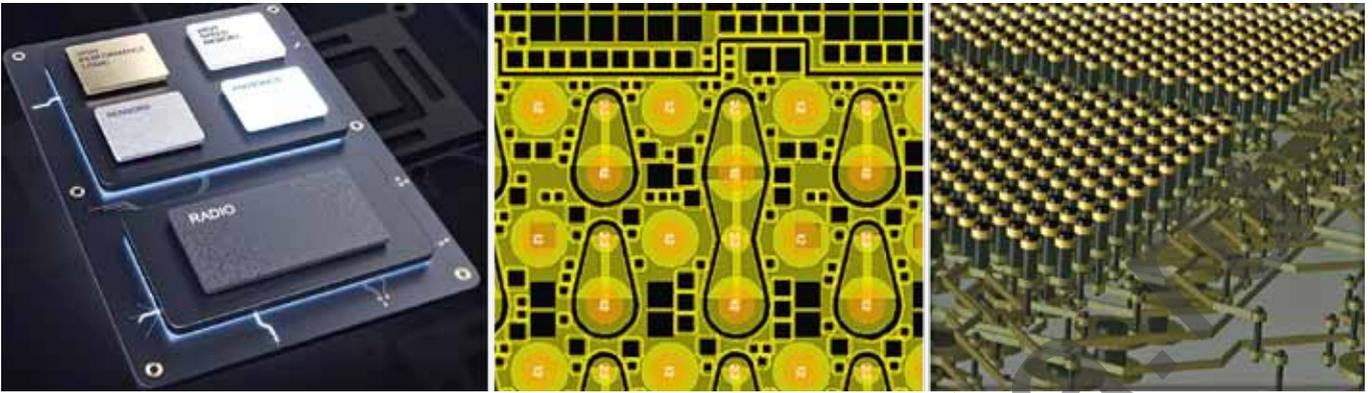


Рис. 3. Корпуса ИС следующего поколения нуждаются в совершенно новом подходе к проектированию

СЕГОДНЯШНИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ БУДУЩИХ РАЗРАБОТОК

Передовые корпуса ИС очень отличаются от традиционных органических корпусов BGA, с которыми знакомо большинство разработчиков.

Сейчас современные корпуса ИС часто имеют больше общего с проектом ИС, что подразумевает большие проблемы при работе с традиционными программными средствами проектирования корпусов для ИС. Такие традиционные программные средства не смогут обеспечить ожидаемый уровень производительности, возможностей и скорости разработки при реализации этих все более сложных и гетерогенных корпусов. Многие OSAT и полупроводниковые компании, не имеющие своего полупроводникового производства, уже сталкиваются с проблемами достижения и поддержания пропускной способности и производительности на сложных конструкциях с количеством выводов 250 тыс. и более.

Сложность этих конструкций сразу же оказывает давление на разработчика и календарный план-график

выполнения работ, который часто приходится продлевать. В последнее время популярным подходом к решению данной проблемы является одновременное проектирование в команде, когда несколько разработчиков параллельно работают над одним и тем же проектом в локальных или глобальных сетях, сохраняя при этом способность визуализировать всю проектную деятельность без необходимости испытывать какие-либо ограничения по настройке или управлению процессами.

Еще одной общей проблемой является время, необходимое для проведения верификации проекта перед изготовлением. Проверенный способ избежать этого «узкого места» и связанных с ним проблем (задержка проекта или незапланированная трата дополнительных ресурсов) заключается во внедрении процесса и методологии комплексной и непрерывной проверки, чтобы процесс окончательной верификации был контролируемым и управляемым.

ПЕРЕДАЧА ПРОЕКТА НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ

Проще говоря, это означает предоставление безошибочных производственных данных по изготовлению и сборке, которые соответствуют технологическим правилам полупроводниковых фабрик или OSAT (PDK или PADK). Основная цель состоит в том, чтобы достичь этого с первого раза.

Устранение итераций требует наличия среды проектирования с возможностями и функциями, отвечающими технологическим правилам, не полагаясь на ручные методы, которые, скорее всего, потребуют многократной переделки проекта для достижения критериев передачи данных на производство. Для того чтобы избежать многократного пересмотра проекта, необходимо полностью обеспечить соблюдение правил и норм производителя, а также автоматизацию таких задач, как снятие напряжения – формирование сетчатых областей, зигзагообразных линий, многослойной структуры для дегазации и т. д.

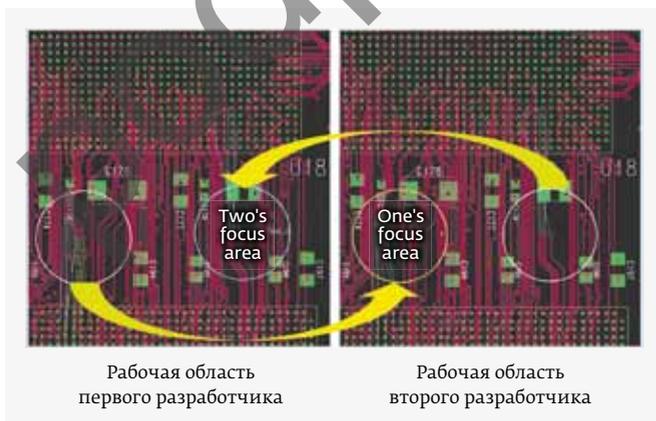


Рис. 4. Одновременное многопользовательское проектирование командой разработчиков может сократить время выполнения работ и оптимизировать ресурсы

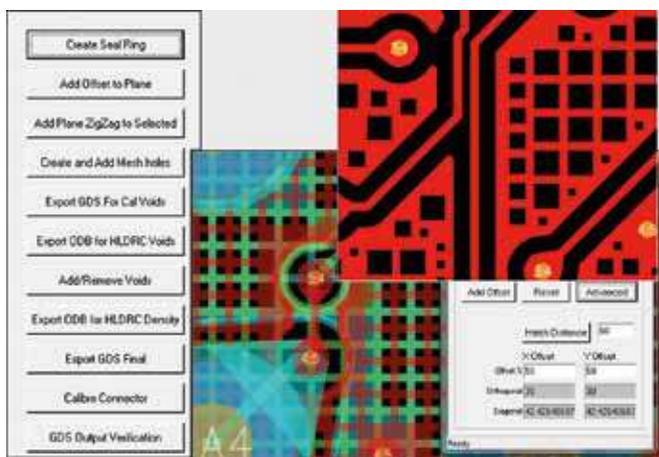


Рис. 5. Точное создание конструкции в соответствии с требованиями производства имеет решающее значение, если нежелательны простои при производстве

Одна из особенностей, которая отличает современные корпуса ИС от традиционных корпусов – это производственные форматы, используемые для изготовления. Передовые корпуса ИС почти всегда изготавливаются с использованием GDSII, в то время как традиционные корпуса ИС используют Gerber, ODB++ или в редком случае IPC2581. Именно формат GDSII будет проверен изготовителем, полупроводниковой фабрикой или OSAT на соответствие их производственным правилам и ограничениям. Что, конечно, приводит к общей для всех проблеме: GDSII-файл экспортируется из родной базы данных CAD-системы проектирования, и именно тут могут возникать проблемы.

Независимо от того, насколько хорошо САПР может обрабатывать и генерировать геометрию, соответствующую правилам изготовления производителя, именно GDSII-файл, полученный в результате постобработки, будет использоваться для проверки изготовителем, и это «Ахиллесова пята» большинства программных средств проектирования корпусов ИС на сегодняшний день. В то время как проект в САПР может пройти проверку на совместимость с производством, полученный из него GDSII-файл редко проходит из-за плохого качества постобработки геометрии, и именно это обычно приводит к возникновению множества итераций проекта по мере того, как разработчик пытается получить приемлемый GDSII.

* * *

Рост популярности гетерогенных конструкций корпусов требует наличия проверенных, автоматизированных систем с проверкой физических, электрических, тепловых и технологических параметров. Единая среда проектирования нового поколения необходима для того, чтобы разработчики могли управлять всеми этими процессами

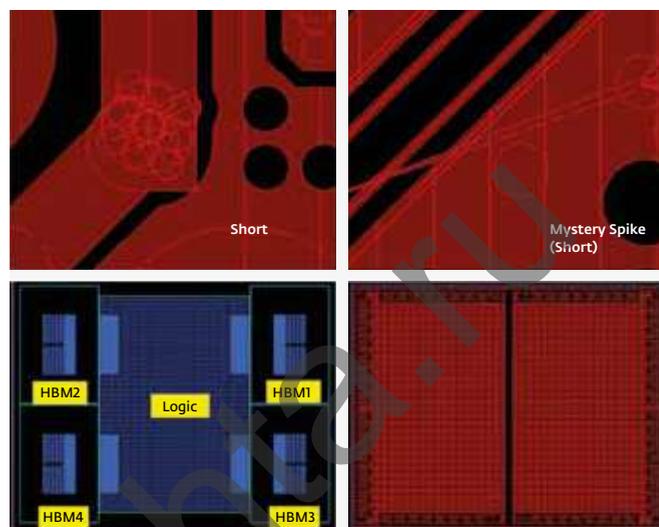


Рис. 6. Традиционные программные средства проектирования корпусов ИС имеют проблемы с созданием безошибочного GDSII

в эффективном, воспроизводимом и автоматизированном маршруте проектирования.

В четвертой и заключительной части статьи будут рассмотрены основные этапы и программные модули лучших в своем классе решений тестирования сложных корпусов микросхем для эффективной и быстрой передачи проекта на производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ramadan T.** Crossing the chasm: Bringing SoC and package verification together with Calibre 3DSTACK // Mentor, a Siemens business. January 2017. <https://go.mentor.com/4QLSO>.
2. **Petranovic D., Chow K.** 3D-IC system verification methodology: solutions and challenges // Electronic Design Process Symposium. April 2011. https://www.researchgate.net/publication/268208901_3D-IC_System_Verification_Methodology_Solutions_and_Challenges.
3. **Ramadan T.** Package designers need assembly-level LVS for HDAP verification // Mentor, a Siemens business. December 2017. <https://go.mentor.com/4WDVi>.
4. **Decoin C., Kourkoulos V.** Fast and accurate extraction of 3D-IC layout structures // Mentor, a Siemens business. July 2012.
5. **Mastroianni T.** eSilicon tackles the challenges of advanced IC package design using Xpedition Substrate Integrator and Calibre 3DSTACK // May 2019. <https://go.mentor.com/58xrP>.
6. Amkor Delivers Industry's First Package Assembly Design Kit to Support Mentor's High-Density Advanced Packaging Tools July 2018. <https://ir.amkor.com/news-releases/news-release-details/amkor-delivers-industrys-first-package-assembly-design-kit>.

7. **Райнболд К., Фелтон К., Вертянов Д., Никеев К.** Проектирование многокристалльных модулей и систем в корпусе // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2020. № 2 (00193). С. 144–150.
8. **Vertyanov D. V., Timoshenkov S. P., Sidorenko V. N., Pogudkin A. V., Belyakov I. A.** Effects of Multilayer Structures Made of Epoxy Compounds with Different Filler Contents on Thermo-Mechanical Stresses in 3D packages // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021.
9. **Чугунов Е. Ю., Тимошенко С. П., Погалов А. И., Вертянов Д. В.** Конструирование и расчеты трехмерных микроэлектронных модулей с высокой степенью интеграции компонентов // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. 2020. № 2 (178). С. 42–48.
10. **Вертянов Д. В., Бураков М. М., Кручинин С. М., Сидоренко В. Н., Брыкин А. В.** Трехмерная микросборка на основе коммутационных плат из кремния и бескорпусных элементов МЭМС // Наноиндустрия. 2018. № 5 (82). С. 521–531.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 760 руб.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ: Учеб. пособие

Кондрашин А. А., Лямин А. Н., Слепцов В. В.
2-е изд., испр. и доп.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2019. – 210 с.,
ISBN 978-5-94836-504-6

С развитием высоких технологий становится реальным выпуск трехмерных электронных устройств (ТЭУ). Решением данной задачи являются еще только разрабатываемые гибридные технологии, названные в данной работе квази-4D-технологиями формирования ТЭУ. В то же время создана классификация 4D-объектов (способных менять свою форму или структуру после их создания в зависимости от внешних условий, например при изменении температуры, при механическом воздействии и т.д.) ТЭУ и технологий для их формирования.

Данное учебное пособие является первой книгой по технологиям изготовления, сканирования и визуализации трехмерных электронных устройств. Во второй книге будут рассмотрены технологии сканирования трехмерных электронных устройств различных диапазонов, в том числе нанометрового диапазона. Отдельный раздел второй книги будет посвящен возможностям изготовления трехмерных электронных устройств нанометрового диапазона с применением методов сканирующей микроскопии. Третья книга будет посвящена технологиям визуализации (средствам отображения информации) для контроля параметров ТЭУ, создания новых ТЭУ и технологий реинжиниринга ТЭУ.

Учебное пособие может быть рекомендовано бакалаврам и магистрам высших учебных заведений.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

Тестовые и калибровочные системы для считывающей электроники кремниевых детекторов

Часть 1

А. Воронин, к. ф. -м. н.¹, И. Кудряшов²

УДК 539.1.075 | ВАК 05.27.01

Тестирование и калибровка каналов считывающей электроники (СЭ) кремниевых детекторов играет важную роль при отладке аппаратуры кремниевых систем в экспериментах физики высоких энергий (ФВЭ) и физики космических лучей (ФКЛ). Это связано с многоканальностью СЭ и, соответственно, технологическими разбросами параметров измерительных каналов, достигающих $\pm 20\%$ и более. В статье обсуждаются основные вопросы, связанные с проведением тестирования и калибровкой СЭ кремниевых детекторов, принципы построения и структурные решения для тестовых систем и аппаратно-программных комплексов для контроля СЭ.

Различают электрическую и физическую калибровки аппаратуры. Электрическая калибровка показывает работоспособность аппаратуры, но из-за неполной эквивалентности параметров измерительного канала при регистрации частиц и при подаче на вход калибровочных сигналов не обеспечивает полноценной калибровки СЭ [1]. Для исключения этой проблемы проводятся физические калибровки на ускорителях и/или при воздействии космических лучей с последующим сравнением, а также коррекцией измерений. Однако для определения деградации или изменения параметров СЭ в ходе эксперимента требуется электрическая калибровка аппаратуры.

Электрическое тестирование можно проводить двумя способами: на специальном тестовом стенде (ТС) и/или при помощи внутренней (встроенной в СЭ) проверочной системы [2, 3]. ТС также позволяет откалибровать внутреннюю проверочную систему.

Внутренние тестовые, или как принято их называть, калибровочные системы, которые реализуются в СЭ всех кремниевых систем, могут иметь два варианта использования:

- проверка правильности функционирования СЭ;
- электрическая калибровка измерительных каналов СЭ.

Калибровка аппаратуры особенно важна для космических исследований, когда необходимо учитывать деградацию аппаратуры в течение длительного полета на необитаемом космическом аппарате, поскольку при этом отсутствует возможность замены или ремонта аппаратуры. Например, для проекта АТЭС на основе электрических испытаний и испытаний на ускорителе [4] были созданы калибровочные методики СЭ, базирующиеся на комплексном подходе с использованием результатов электрической и физической калибровок. Подобная задача решена в проекте НУКЛОН для малого ионизационного калориметра (МИК).

ВНУТРЕННЯЯ КАЛИБРОВОЧНАЯ СИСТЕМА

Электрическая калибровочная система – неотъемлемая часть любой СЭ для кремниевых детекторов. Применение периодической калибровки обусловлено разбросами параметров каналов, их дрейфом во времени, температуре и под воздействием других дестабилизирующих факторов. Одна из проблем схемотехники калибровочной системы – создание генератора тестовых импульсов, который, в соответствии с принципом работы кремниевых детекторов, должен формировать короткий импульс тока, по форме совпадающий с импульсом детектора [1], который подается на вход предусилителя, связанного с детектором через отдельную цепь. Калибровочная цепь должна минимально влиять на параметры предусилителя. Аппроксимацией реального сигнала детектора можно считать короткий прямоугольный импульс тока, который в случае использования ЗЧУ может быть заменен на перепад напряжения (функция Хевисайда). В итоге,

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцина МГУ им. М. В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник, voronin@silab.sinp.msu.ru.

² Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцина МГУ им. М. В. Ломоносова, научный сотрудник, ilya.kudryashov.85@gmail.com.

в качестве тестового генератора наиболее часто применяется генератор прямоугольных импульсов напряжения. Основным недостатком такого генератора является формирование импульса обратной полярности по спаду входного импульса, что может приводить к сдвигу базовой линии и другим искажениям, а также превращает входной каскад в усилитель напряжения. Это не в полной мере соответствует реальной схеме преобразования тока в напряжение [1]. Наличие ключей, линий связи и задержек в калибровочной цепи между генератором тестового импульса и входом канала также может приводить к искажениям результатов электрической калибровки.

Таким образом, калибровочная система не может полностью обеспечить имитацию импульсов детектора, возникающих при прохождении реальных частиц через детектор. Поэтому возникает необходимость физической калибровки кремниевой системы с использованием реальных источников излучений и введение коррекции в результаты электрической калибровки.

Электрическая калибровочная система предназначена:

- на этапе разработки аппаратуры – для исследования работы опытных образцов специализированных интегральных микросхем (СИМС) и полной схемы СЭ по всему комплексу параметров;
- при методических физических сеансах – для настройки аппаратуры и сравнения физических результатов с результатами электрической калибровки;
- на этапе сборки установки для проведения эксперимента – для подготовки установки к проведению эксперимента (серийное тестирование);
- на этапе проведения эксперимента – для контроля параметров установки и при необходимости регулировки ее параметров или ремонта.

Основные параметры, позволяющие оценить качество работы канала: величина пьедестала, уровень шума, передаточная характеристика и, в случае измерения времени, точность его измерения. Две последние характеристики могут быть получены только при подключении на вход канала тестового импульса. Тестовый импульс подается на вход через калибровочную емкость, величина которой много меньше суммарной емкости детектора, чтобы исключить влияние калибровочного канала.

Часто применяемая схема калибровочной системы показана на рис. 1.

Управляемый генератор может быть внешним (СИМС CR-1 [5]) и внутренним (СИМС FSSR2 [6]). В качестве внутреннего генератора используется цифро-аналоговый



Рис. 1. Вариант построения внутренней калибровочной системы СЭ

преобразователь. Тактовым импульсом, с помощью аналогового коммутатора, на калибровочных емкостях определенных каналов создается перепад напряжения. Амплитуда перепада соответствует коду, поступающему на управляемый тестовый генератор. Оригинальная схема формирования тестового импульса (рис. 2) реализована в СИМС SVX4 [7].

При подключении группы СИМС к линии VCal внешнее напряжение Vext делится внутри СИМС пропорционально резистору Rext и количеству подключенных блоком управления VCal делителей 5 и 2,5 кОм (см. рис. 2). Таким образом, при использовании внешнего постоянного напряжения Vext можно генерировать набор тестовых напряжений, которые при помощи ключа, управляемого CalStrobe, превращают Vext в тестовые импульсы VCal, поступающие на калибровочные емкости.

Часто использование внутренней калибровки совмещается с работой ТС на этапах отладки и сборки СЭ. В настоящее время иногда недостаточно иметь систему внутренней калибровки, показанную на рис. 1 и 2. В работе [2]

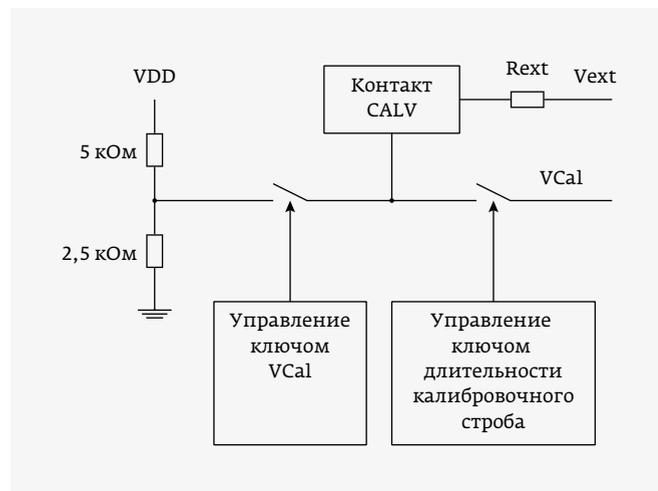


Рис. 2. Формирование тестового импульса в СИМС SVX4

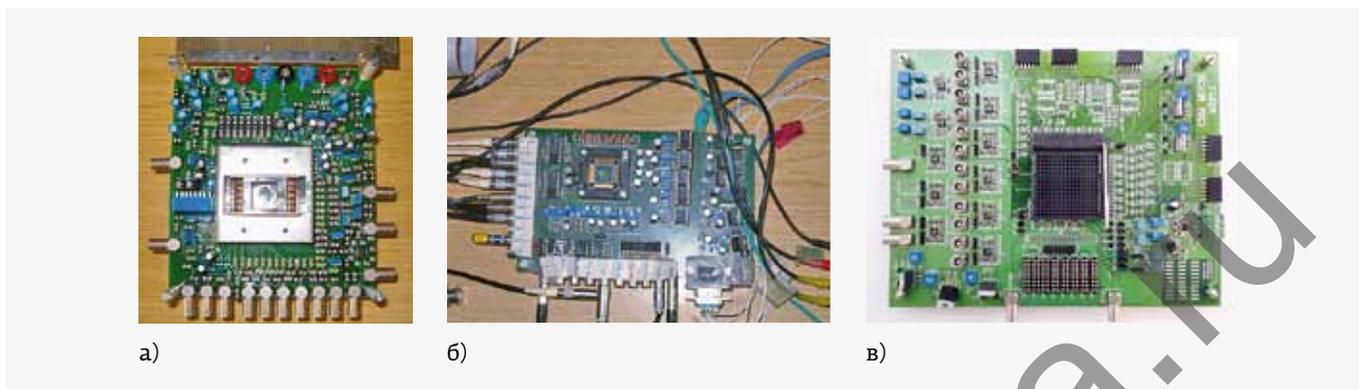


Рис. 3. Тестовые платы с контактными устройствами для измерений: а – опытных 8-канальных СИМС кремниевых детекторов проекта SVM; б – СИМС MUCH-V3 проекта SVM; в – СИМС CR-1 проекта АТИС

предложена структура калибровочной и контрольной системы, обеспечивающей кроме калибровки каналов, проверку работы отдельных блоков СИМС, а также измерение температуры, тока потребления и других параметров СИМС.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕСТОВЫЕ СТЕНДЫ (ТС)

Электронные ТС могут быть собраны из стандартных измерительных приборов. Но, как правило, для кремниевых систем необходимо разработать некоторые оригинальные блоки тестовой аппаратуры. Это связано с нестандартностью конструктива и СЭ. Как минимум разрабатывается плата (рис. 3) с контактными устройствами, разъемами и сервисная электроника (рис. 4), в остальном применяются стандартные приборы (тестирование СИМС CR-1).

Тестовый стенд для СИМС CR-1 (см. рис. 4а) проекта АТИС содержит стандартные приборы: цифровой осциллограф (1), который используется, в частности, как АЦП; генератор калибровочных импульсов (2); блок питания (3). Также в состав стенда входят разработанные устройства: блок включения питания и измерения тока потребления и напряжений питания (4); плата с контактными устройствами для СИМС в пластмассовом корпусе (5); плата управления (6); плата с контактными устройствами для кристалла СИМС в металлокерамическом корпусе (7). Стенд позволяет измерить все основные параметры СИМС CR-1 [5].

На рис. 4б показана структура стенда для измерений характеристик опытного образца схемы с переключением каналов [8], а также тестовых блоков операционного усилителя (ОУ) и устройства выборки хранения (УВХ), расположенных на этом же кристалле. Кварцевый генератор тактовых импульсов совместно с блоком управления, использующий программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), задает код амплитуды тестового импульса для ЦАП и временные диаграммы для АЦП

и СИМС (центр рисунка). Драйверы служат для согласования выходных импедансов СИМС и входов измерительных приборов. АЦП через шину USB передает в компьютер оцифрованные данные измерений.

Результаты измеренных параметров приведены в статьях, описывающих данные СИМС [5, 8].

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ИС И АППАРАТУРЫ ЧТЕНИЯ ДАННЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Многие современные микросхемы требуют более сложных ТС, которые обычно называют аппаратно-программными комплексами (АПК). Здесь мы приведем описание лабораторных АПК и их функции для проверки СИМС и СЭ, предназначенных для экспериментов ФВЭ и ФКЛ, а также прикладных задач (тестирования на ускорителе).

Кроме лабораторных АПК, непосредственно в научном центре, где расположена экспериментальная установка, для обеспечения ее правильного функционирования требуются отдельная ТС или АПК. Экспериментальные физические установки ФВЭ, работающие регулярно в течение нескольких лет, обычно проходят две стадии: создание и модернизацию аппаратуры, а также ее ремонт. Для этого необходим АПК, который позволяет:

- испытывать различные версии микросхем чтения сигналов детекторов;
- отрабатывать схемотехнику вновь разрабатываемых микросхем и СЭ;
- проводить серийные испытания микросхем перед установкой микросхем в макетную или рабочую аппаратуру;
- отрабатывать и испытывать электронные блоки с использованием новых версий микросхем.

Некоторые из этих задач решаются также в лабораторных условиях.

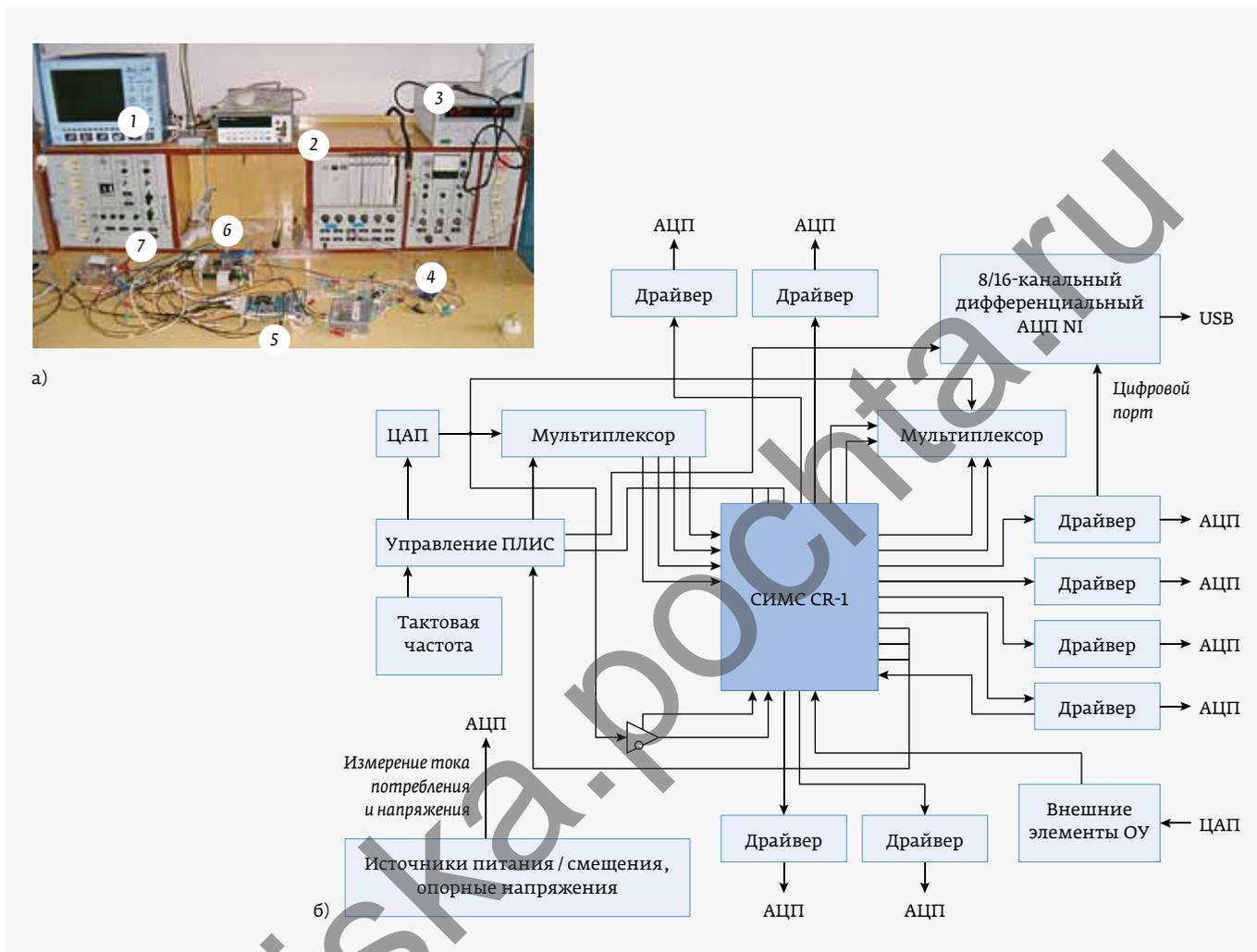


Рис. 4. Тестовый стенд для СИМС CR-1 проекта АТИС: а – внешний вид; б – структурная схема

Не менее важная задача при создании кремниевых систем – методическая отработка СЭ с детекторами при воздействии на них ионизирующего излучения. Тестирование может проводиться в лаборатории с источником излучения, но этот метод не позволяет изучить работу СЭ в полном объеме. Для выполнения задачи проверки СЭ с ионизирующими излучениями обычно проводят методические тестирующие сеансы на ускорителях с частицами разных энергий и различным составом пучка.

Следует отметить несколько важных характеристик АПК (ТС), которые обеспечивают достоверность проводимых испытаний. Источники питания должны иметь минимальную амплитуду пульсаций (менее 0,1 мВ), поэтому предпочтительно применять линейные источники напряжения с дополнительными линейными стабилизаторами напряжения. В случае использования импульсных источников требуются фильтры, способные снизить уровень пульсаций до приемлемого уровня. В некоторых

случаях требуется экранировка каскадов на тестовой плате и минимальные величины паразитных элементов, образующиеся при трассировке проводников платы. Управляющие СИМС сигналы не должны проходить под кристаллом СИМС.

Набор параметров, которые необходимо измерять при помощи АПК, достаточно обширен и зависит от конкретной схемы СЭ. В общем случае при помощи АПК измеряются:

- статические параметры (рабочие точки элементов СЭ);
- аналоговые параметры: усиление отдельных каскадов, формы и амплитуды сигналов, переходные характеристики, линейность, уровень шума, динамический диапазон, динамическая емкость входного каскада, нагрузочная способность выходных каскадов, стабильность и значение базовой линии, разрешение при измерении времени, амплитудно-частотные характеристики, частотные спектры

сигналов и шумов, фазовый спектр шумов генератора, перекрестные помехи;

- параметры ЦАП и АЦП: значение младшего разряда, линейность, диапазон, количество действующих разрядов, джиттер, стабильность характеристик, быстродействие;
- цифровая часть: вероятность сбоев и критических задержек (случайные сбои при некоторых значениях кода);
- значения частот, формируемых в СИМС, джиттер формируемых частот;
- задержки сигналов;
- потребляемая мощность, температурные зависимости параметров.

При испытаниях многоканальных микросхем с количеством выходных площадок более 100 одна из проблем – обеспечение контактов с выходными площадками. Для создания универсальных многоконтактных зондов с высокими параметрами (низкая емкость (менее 0,3 пФ), широкая полоса пропускания (более 300 МГц), хорошая экранировка зондов) необходима разработка зонда под каждый тип СИМС.

Решением этой проблемы для отдельных микросхем является комбинированный подход, использующий сочетание свободно перемещаемых зондов (пикопробов) и специализированной печатной платы. Если микросхема имеет корпус с выходными площадками, то на печатной плате устанавливается тестовый разъем, позволяющий производить замену микросхем в контактном устройстве без дополнительных операций, таких как пайка. Для случая, когда микросхема должна применяться без корпуса, она устанавливается в промежуточный корпус с достаточным количеством контактов, при этом корпус не имеет верхней защиты (крышки). Промежуточный корпус затем вставляется в тестовый разъем.

На специальной плате также устанавливаются фильтры питания; дополнительные элементы для обеспечения регулировок параметров каскадов микросхемы, если они предусмотрены схемой включения СИМС; драйверы для согласования импедансов измерительных приборов и ИС; контакты (разъемы) для соединения платы с измерительной электроникой (см. примеры в предыдущем разделе). Специальная плата, как правило, разрабатывается под каждый тип тестируемых микросхем. Остальные электронные блоки, обеспечивающие проверку микросхем, могут быть общими для различных типов тестирующего оборудования.

Для обеспечения контактирования зонда с точками схемы, снижения количества контактных площадок и уменьшения влияния паразитных элементов в опытных СИМС может вскрываться пассивация, нанесенная на кристалле СИМС (СИМС CR-1, MUCN V3).

В заключение обсуждения общих вопросов тестирования СЭ можно сделать вывод, что все реализованные проекты для кремниевых детекторов показали необходимость применения современных тестовых комплексов, без которых проверка аппаратуры была бы значительно затруднена.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АПК

Рассмотрим тестовый комплекс, который предназначен для управления электроникой СЭ различных проектов, чтением данных, их преобразованием и визуализацией, а также оснащен вспомогательной диагностикой. Аппаратное и программное обеспечение, как стандартное (коммерческое), так и разработанное специально для стенда, обеспечивает все необходимые функции для реализации тестирования и отладки аппаратуры. АПК состоит из двух независимых частей. Первая часть – универсальная, она позволяет измерять параметры СИМС

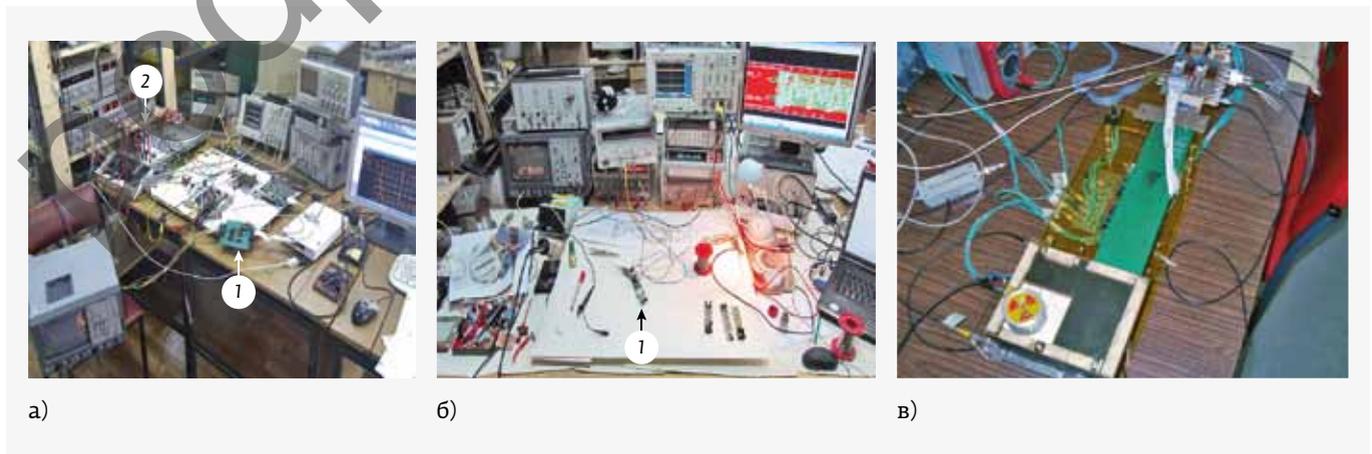


Рис. 5. Универсальный АПК: а – конфигурация стенда для тестов с СИМС НУКЛОН; б – конфигурация для тестов с СЭ дозиметра; в – СЭ с детектором и источником низкоэнергетичных электронов



Разработка и производство конденсаторов

оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98, K50-99, K50-100, K50-101(чип), K50-102, K50-103, K50-104, K50-105, K50-106

объемно-пористые танталовые конденсаторы

K52-1, K52-1M, K52-1BM, K52-1B, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24, K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28, K52-29, K52-30

оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

K53-1A, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-69(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип), K53-78(чип), K53-82

суперконденсаторы (ионисторы)

K58-26, K58-27, K58-28, K58-29, K58-30, K58-31, K58-32, K58-33

накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001



и СЭ и может быть подключена к падовым или полосковым детекторам. Вторая часть, которая будет рассмотрена ниже, содержит светонепроницаемый бокс, предназначена для испытаний СЭ с микрополосковыми детекторами (микрострипами) и обеспечивает возбуждение одного стрипа детектора при шаге более 40 мкм при помощи лазера. Возможно исследование попадания нескольких частиц в детектор или кластер, образованный от одной частицы (сигнал в каждом стрипе) с радиоактивным источником.

На лабораторном универсальном АПК проведены электрические испытания СЭ вершинного детектора, который прошел три модификации. Установка «Спектрометр с вершинным детектором» (СВД-2) [9] размещена на выведенном пучке протонов в Институте физики высоких энергий. На этой установке производилась модернизация СЭ с микростриповыми детекторами на базе ИС VAI, VI' и VAI-3.

Для российского космического проекта НУКЛОН была разработана и протестирована специализированная 32-канальная микросхема с уникальным динамическим диапазоном до 120 пКл [10], а также прототип лэдэра на ее основе. Созданы и испытаны прототипы СИМС для проекта FAIR (например [11]), СЭ для дозиметра с кремниевым детектором, а также другая считывающая электроника:

- микросхемы, реализуемые с участием НИИЯФ МГУ и используемые в ряде проектов;
- электронная аппаратура, в которой установлены сторонние СИМС (прототипы микросхем и аппаратура для этих проектов прошли испытания, настройку и отладку на универсальном измерительном комплексе).

Универсальный тестовый комплекс (рис. 5) работает в двух режимах: тестирование электроники, когда сигналы детекторов имитируются импульсными генераторами, и проверка плат электроники с детекторами с использованием источников, создающих ионизирующее излучение для детекторов. Такими источниками могут быть: лазер, работающий в импульсном режиме, или радиоактивный источник. В случае использования радиоактивного источника требуется триггерная система, в качестве которой может быть использован цифровой осциллограф или отдельная система с регулируемым порогом.

Ядро универсального АПК для тестирования СИМС НУКЛОН показано на рис. 6. Тестируемые платы с СИМС и СЭ обозначены как 1 на рис. 5. Кроме того, для тестирования могут применяться блок управления напряжениями питания и измерения напряжений и токов потребления по отдельным цепям (обозначен как 2 на рис. 5) и блок коммутации (см. рис. 6). В состав универсального АПК также могут вводиться дополнительные приборы и блоки,

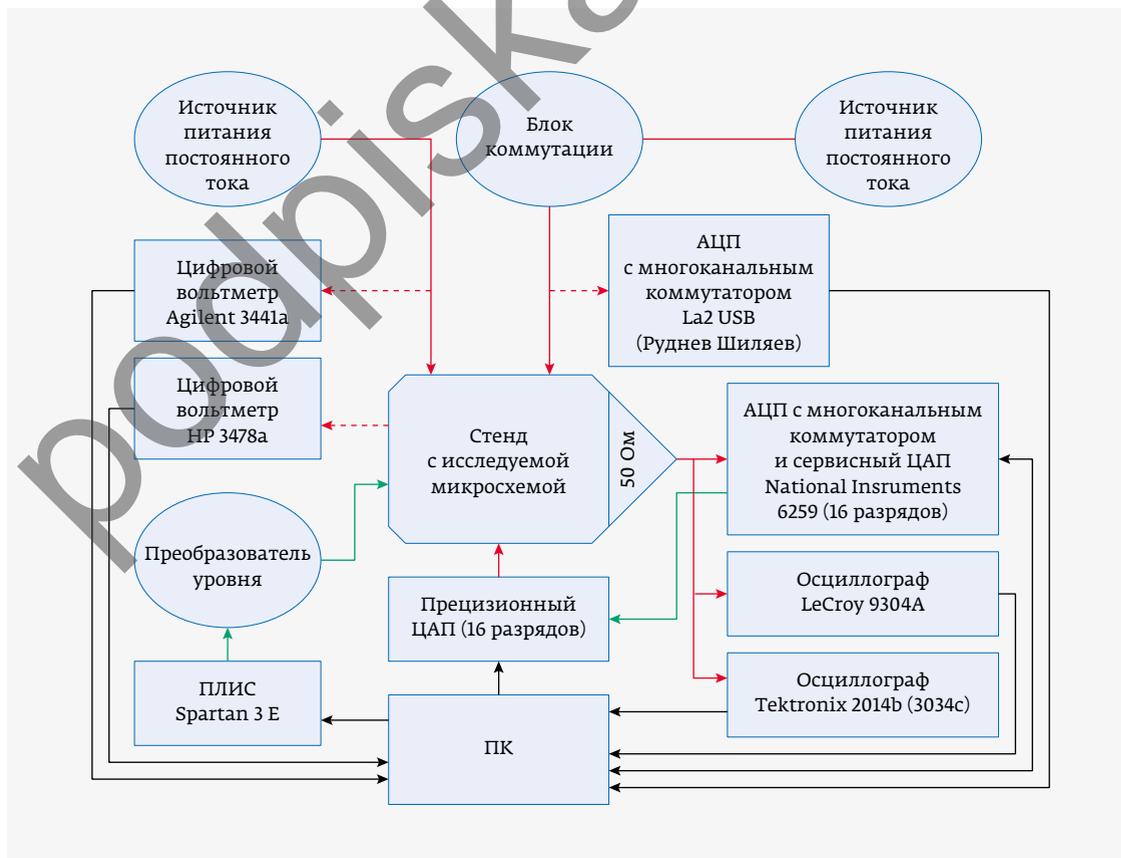


Рис. 6. Ядро универсального АПК

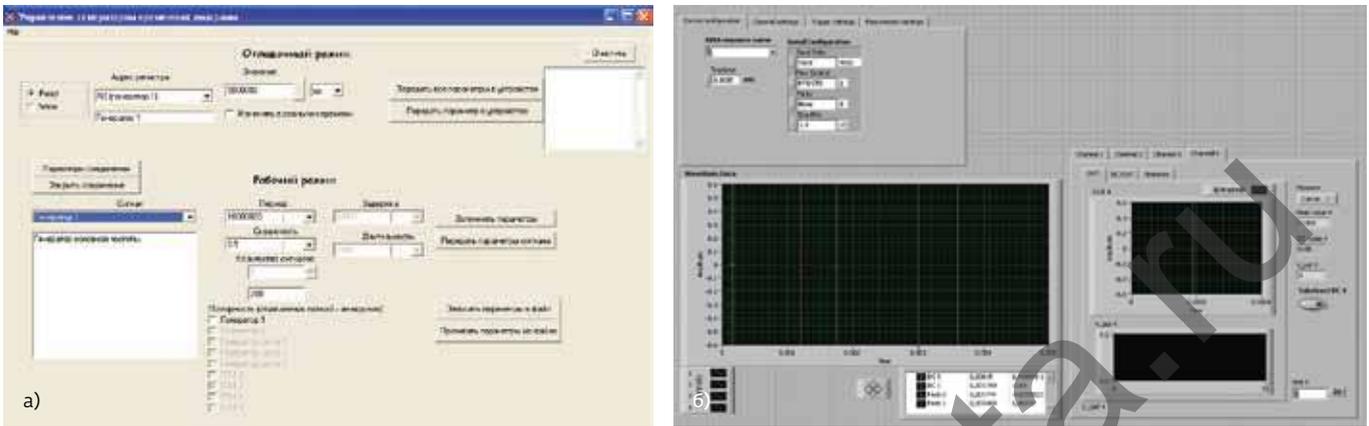


Рис. 7. Пользовательские интерфейсы: а – установки параметров сигналов управления СЭ; б – системы сбора данных

в частности, частотные и амплитудные анализаторы спектров. ПЛИС Spartan 3E формирует тактовые частоты и временные диаграммы для управления СИМС СЭ.

Путем установки необходимых параметров и программирования ПЛИС можно сформировать сигналы управления для конкретной СЭ. Преобразователь логических уровней конвертирует униполярные уровни 0 и 3,3 В в требуемые уровни напряжения для управления СЭ, например для СИМС НУКЛОН – в биполярные сигналы –1,65 и 1,65 В. В качестве генератора входного тестового воздействия используется 16-разрядный ЦАП SPT6219, управляемый при помощи блока NI USB-6259. Триггер вырабатывается платой Spartan. Амплитуда сигнала определяется 8-разрядным цифровым кодом с блока NI USB-6259 (диапазон входного напряжения 0–5 В). Аналоговые и дискретные выходные сигналы СЭ, напряжения питания и смещения оцифровываются при помощи двух осциллографов Tektronix TDS3014 и LeCroy 9304a, а также АЦП с коммутаторами NI USB-6259 и LA32 USB.

Осциллографы, кроме визуализации сигналов, имеют возможность математической обработки измеренных сигналов и применяются для предварительной работы с оцифрованными данными.

АПК может работать в автоматическом и ручном режимах. Автоматизация измерений определяется программным обеспечением, созданным в среде LabView и WinAPI/C++. На рис. 7 и 8 представлены интерфейсы системы сбора данных для установки параметров сигналов управления СЭ и интерфейс программы управления АЦП LA-2 USB. На тестовой плате СИМС НУКЛОН расположены: стабилизаторы напряжения, драйверы, элементы регулировки смещений каскадов СИМС, нагрузки. Для уменьшения влияния пробника на результаты измерений применяется активный пикопроб с входным импедансом 1 ГОм / 0,1 пФ.

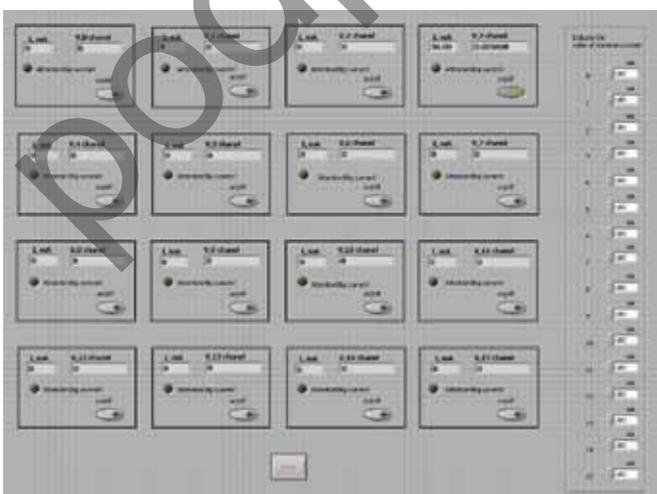


Рис. 8. Интерфейс управления АЦП LA-2 USB

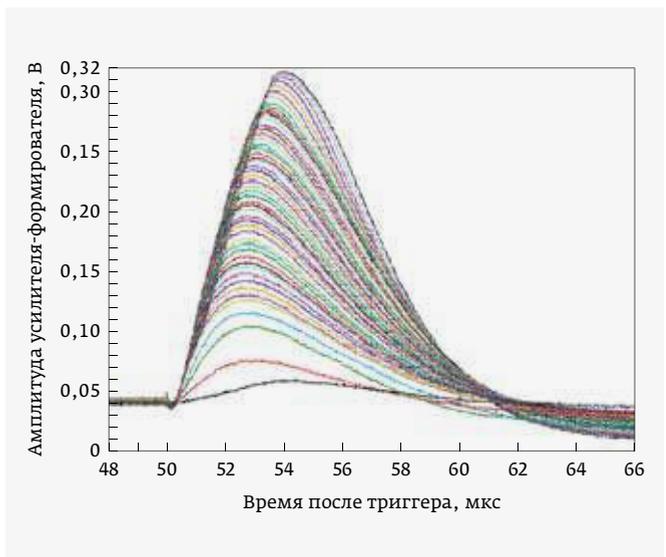


Рис. 9. Семейства откликов на входное воздействие для VPF=2,7 В

На рис. 9 приведено семейство измеренных с помощью пикопроба откликов шейпера СИМС для смещения VPF=2,7 В. Основные результаты тестирования приведены в [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воронин А.** Моделирование сигналов головной части считывающей электроники кремниевых детекторов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 2. С. 150–155.
2. **Воронин А.** Перспективные цифровые решения для считывающей электроники кремниевых детекторов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 6. С. 96–108.
3. **Воронин А.** Структура каналов для считывающей электроники кремниевых детекторов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология. 2019. № 2. С. 106–114.
4. **Guzik T. G., Adams J. H., Ahn H. S., Bashindzhagyan G., Voronin A. et al.** The ATIC long duration balloon project // Advances in Space Research 33 (2004) 1763–1770.
5. **Adams J. H., Voronin A. et al.** The CR-1 chip: custom VLSI circuitry for cosmic rays // Proceedings of the 26th ICRC. 1999. V. 5. Salt Lake City. P. 69.
6. **Re V. et al.** FSSR2, a self-triggered low noise readout chip for silicon strip detectors // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2006. V. 53. No. 4. PP. 2470–2476.
7. **Christofek L., Hanagaki K., Hoff J., Kreiger B., Rapidis P., Garcia-Sciveres M. et al.** SVX4 User's Manual // D0 Note 4252, FERMILAB-TM-2318-E. 2005.
8. **Аткин Э. В., Воронин А. Г., Ключев А. Д., Бочаров Ю. И.** Метод и интегральная микросхема для обработки нерегулярного во времени потока данных в многоканальной аппаратуре физического эксперимента // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 1. С. 1–7.
9. **Авдейчиков В. В., Алеев А. Н., Ардашев Е. Н., Басиладзе С. Г., Богданова Г. А., Вишневская А. М., Волков В. Ю., Воробьев А. П., Воронин А. Г.** Спектрометр с вершинным детектором для экспериментов на ускорителе ИФВЭ // Приборы и техника эксперимента. 2013. № 1. С. 14–37.
10. **Аткин Э. В., Волков Ю. А., Воронин А. Г., Дементьев Д. В., Ильющенко И. И., Карманов Д. Е., Ключев А. Д., Кудряшов И. А., Лобанов А. А., Подорожный Д. М., Шумихин В. В.** Испытание 32-канальной интегральной микросхемы для регистрации сигналов кремниевых детекторов // Приборы и техника эксперимента. 2012. № 4. С. 43–48.
11. **Atkin E., Malankin E., Shumikhin V., Samsonov V., Voronin A. et al.** Development of the asynchronous readout ASIC for GEM detectors // 2016 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop (NSS/MIC/RTSD), Strasbourg. 2016. PP. 1–5.

Тестирование электроники в эпоху миниатюризации

Хотите узнать больше о наших технологиях и продукции? Свяжитесь с нами по электронной почте russia@jtag.com или посетите наш сайт www.jtag.com.

JTAG TECHNOLOGIES

Более 25 лет в самом сердце электроники
 Клиенты в более чем 50 странах
 По всему миру продано более 10 000 систем
 Более 2500 клиентов
 Поддержка по всему миру

Как разрабатывать, производить и тестировать высококачественные электронные изделия с меньшими затратами и в короткие сроки?

Запросите нашу брошюру

Особенности реализации метода цифровых предискажений в системах радиосвязи мм-диапазона

Х. Йектаи¹, П. Прайт², Ф. Кирни³

УДК 621.396 | ВАК 05.27.01

Частоты миллиметрового диапазона, используемые в сетях 5G New Radio, обеспечивают возможность резкого повышения скорости передачи данных, в то же время создавая определенные проблемы при создании связного оборудования. В статье обсуждаются архитектурные особенности базовых станций, работающих в мм-диапазоне длин волн и на частотах ниже 6 ГГц. Особое внимание уделено вопросам реализации метода цифровых предискажений (DPD) в этих системах. В то время как DPD является хорошо зарекомендовавшим себя методом повышения энергоэффективности на частотах ниже 6 ГГц, в большинстве станций мм-диапазона его не применяют. На примере прототипа 256-элементной антенны мм-диапазона, построенного на базе формирователей луча и трансиверов компании Analog Devices, в статье показано, как с помощью DPD можно повысить эффективную изотропную излучаемую мощность (EIRP) на 3 дБ, что позволяет на 30% сократить количество элементов антенны по сравнению с антенной без DPD.

ВВЕДЕНИЕ

Помимо уменьшения задержек и повышения надежности, резкий рост спроса на более высокую скорость передачи данных стал одной из основных движущих сил стандарта 3GPP 5G NR. Несмотря на то, что системы 4G LTE были ориентированы на частотный диапазон ниже 3 ГГц, освоение нового спектра частот в диапазоне от 3 до 5 ГГц в последние годы позволило расширить полосу пропускания канала в сетях 5G NR. По сравнению с 4G LTE максимальная полоса пропускания канала увеличилась с 20 до 100 МГц на частотах ниже 6 ГГц. Кроме более широкой полосы пропускания канала, использование нескольких передающих и приемных антенн и, в конечном итоге, внедрение технологии Massive MIMO еще больше повысили спектральную эффективность. Эти улучшения помогают обеспечить более высокую пропускную способность, однако из-за фундаментального ограничения – относительно небольшого объема выделенного спектра ниже 6 ГГц – максимальная скорость передачи данных для пользователей остается ниже 1 Гбит/с.

В стандарте 5G NR, впервые в истории стандартов 3GPP, для мобильных устройств сотовой связи выделены частоты миллиметрового диапазона между 24,25 и 52,6 ГГц. Этот частотный диапазон обозначается как FR2, а диапазон ниже 6 ГГц – FR1. В диапазоне FR2 доступны гораздо более широкие полосы спектра по сравнению с FR1. Один канал в FR2 может иметь ширину до 400 МГц, что обеспечивает беспрецедентную пропускную способность. Тем не менее, использование частот миллиметрового диапазона создает новые проблемы при реализации как базовой станции, так и пользовательского оборудования. Самыми значительными из этих проблем являются более высокие потери в тракте передачи и более низкая выходная мощность, что значительно усложняет энергетический баланс линии связи между базовой станцией и пользовательским оборудованием.

Потери в тракте передачи между базовой станцией и пользовательским оборудованием определяются как $P_t(dB) = 10 \log_{10}(P_t/P_r)$, где P_t и P_r – переданная и принятая мощность соответственно. В свободном пространстве принимаемая мощность является функцией расстояния и длины волны (эта зависимость известна также как формула Фрииса): $P_r(d, \lambda) = P_t G_t G_r (\lambda/4\pi d)^2$, где G_t и G_r – коэффициенты усиления антенны передатчика и приемника соответственно, λ – длина волны, а d – расстояние между передатчиком и приемником.

¹ Analog Devices, разработчик архитектур беспроводных систем, hossein.yektaei@analog.com.

² Analog Devices, разработчик алгоритмов, patrick.pratt@analog.com.

³ Analog Devices, технический руководитель, frank.kearney@analog.com.

В типичной среде беспроводной связи из-за отражений от близлежащих объектов и потерь из-за конструктивных материалов смоделировать и оценить потери в тракте передачи намного сложнее. Однако, чтобы оценить потери в тракте передачи на частотах миллиметрового диапазона в сравнении с частотами ниже 6 ГГц, предположим, что радиоволны распространяются в свободном пространстве, коэффициенты усиления антенн близки, а расстояния между базовой станцией и пользовательским оборудованием равны между собой. При использовании такого допущения получим, что потери в тракте передачи на частоте 28 ГГц по сравнению с 900 МГц будут выше на $10 \log(28\,000/900)^2 = 29,8$ дБ!

Усилители мощности базовых станций на частотах ниже 6 ГГц нередко выдают десятки ватт ВЧ-мощности с эффективностью более 40%. Это стало возможным благодаря внедрению высокоэффективных архитектур усилителей мощности, таких как усилитель Доэрти, и использованию усовершенствованных методов цифровых предискажений. Напротив, высоколинейные усилители мощности класса АВ миллиметрового диапазона обычно обеспечивают менее 1 Вт ВЧ-мощности и КПД менее 10%. На частотах миллиметрового диапазона такие условия усугубляют проблемы с энергетическим балансом линии связи между базовой станцией и пользовательским оборудованием. Решение обеих проблем – больших потерь в тракте передачи и малой мощности усилителей – заключается в более точной передаче мощности в определенное местоположение в пространстве. Это достигается с помощью активных фазированных антенных решеток, которые предоставляют возможность формирования и управления положением диаграммы направленности.

АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ В СЕТЯХ 5G МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Антенные решетки – не новая концепция. Пассивные решетки использовались в антеннах базовых станций сотовой связи с первых лет развертывания GSM, а в радиолокационных системах они используются уже несколько десятилетий. Как было указано выше, решение проблем больших потерь в тракте передачи и низкой мощности на усилителях мощности на частотах мм-диапазона заключается в использовании активных фазированных антенных решеток. Это достигается размещением множества антенных элементов в массиве, при этом каждый элемент возбуждается усилителем малой мощности. Использование большого количества элементов увеличивает общую излучаемую мощность антенны, в то же время повышает коэффициент усиления антенной решетки и сужает результирующий радиолуч. Теория работы фазированных антенных решеток выходит за рамки данной статьи. Дополнительная информация по этой

теме изложена в серии статей Analog Dialog. Phased Array Antenna Patterns [2–4].

Высокая стоимость активных фазированных антенных решеток ограничивает их применение, в основном, аэрокосмической и оборонной сферами. Последние достижения в области полупроводниковых технологий в сочетании с высоким уровнем интеграции позволили АФАР стать коммерчески рентабельными в приложениях для сетей 5G. Компания Analog Devices предлагает активные устройства формирования луча, в которые интегрированы 16 полных каналов передачи и приема с соответствующими усилителями мощности и малошумящими усилителями, а также функционал управления фазой и усилением каждого канала и TDD-ключи. Все это на одном кристалле. Первое поколение этих устройств было реализовано с использованием БиКМОП-технологии на основе SiGe (ADMV4821). Для повышения энергоэффективности и снижения стоимости во втором поколении устройств используется КМОП КНИ-процесс (ADMV4828). Высокоинтегрированные и энергоэффективные устройства формирования луча, наряду с повышающими/понижающими преобразователями частоты мм-диапазона (ADMV1017/ADMV1018) и синтезаторами частоты (ADF4371/ADF4372), обеспечивают комплексное решение для РЧ-интерфейсов базовых станций сетей 5G мм-диапазона.

На частотах миллиметрового диапазона элементы антенны достаточно компактны. Например, площадь простой микрополосковой патч-антенны, работающей на частоте 28 ГГц, обычно меньше 10 мм². Поэтому для увеличения коэффициента усиления можно разместить множество антенн на относительно небольшой площади.

Рассмотрим, например, антенную решетку, состоящую из 256 элементов (восемь рядов, 16 столбцов) и содержащую излучающие элементы с двойной поляризацией (рис. 1). Красные и синие линии на рис. 1 обозначают элементы с поляризацией 45° и –45° соответственно.

Общая площадь такой антенной решетки при расстоянии между антенными элементами, равными $\lambda/2$, составляет $8(\lambda/2) \cdot 16(\lambda/2) = 32\lambda^2$. Если сравнить антенны на 900 МГц и 28 ГГц, то общая площадь антенны на 900 МГц равна 3,55 м², в то время как площадь 28-ГГц антенны составляет всего $3,67 \cdot 10^{-3}$ м² – почти в 1000 раз меньше! В то время как размер 256-элементной антенной решетки на 900 МГц совершенно неприемлем, аналогичная антенна на 28 ГГц может быть реализована на печатной плате на площади менее 40 см².

На основе многослойной печатной платы с использованием формирователей луча и повышающих/понижающих преобразователей мм-диапазона от Analog Devices была разработана 256-элементная антенная решетка мм-диапазона с двойной поляризацией, рассчитанная на частоту 28 ГГц. Чтобы снизить стоимость и избежать

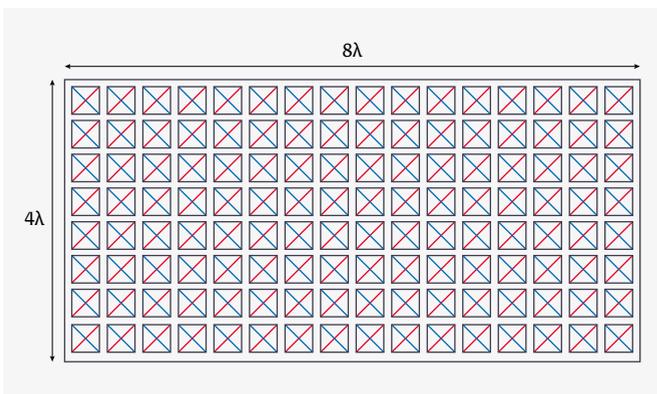


Рис. 1. 256-элементная антенная решетка с излучающими элементами с двойной поляризацией

дорогостоящих и вызывающих потери соединений между антенной и радиостанцией, активные компоненты были установлены с одной стороны, а антенные элементы – с другой стороны печатной платы (рис. 2).

На плате AiB256 установлено 16 КМОП КНИ-микросхем формирователя луча ADMV4828, каждый из которых обеспечивает 16 каналов передачи и 16 каналов приема, подключенных к 128 антенным элементам в каждой поляризации, перекрывая диапазон частот от 26,5 до 29,5 ГГц. Каждый из 64 антенных элементов с одинаковой поляризацией подключен к отдельному повышающему/понижающему преобразователю мм-диапазона ADMV1018. Таким образом, можно сформировать суммарно четыре независимых луча антенны. Упрощенная блок-схема для половины схемы печатной платы AiB256 показана на рис. 3.

Чтобы получить более высокие значения эффективной изотропной излучаемой мощности (EIRP), можно объединить на ПЧ два набора из 64 антенных элементов с одинаковой поляризацией для генерации двух лучей, при этом 128 антенных элементов формируют каждый луч. Эта плата широко использовалась в компании Analog Devices при разработке собственных алгоритмов калибровки антенн и цифровых предискажений.

КОНФИГУРАЦИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЧАСТОТ НИЖЕ 6 ГГц И мм-ДИАПАЗОНА

При проектировании базовой станции, рассчитанной на желаемую частоту и зону покрытия, часто в качестве основных требований указывают диаграмму направленности и эффективную изотропную излучаемую мощность (EIRP). Стандартная базовая станция (максосота) на 900 МГц содержит 4Tx/4Rx-радиоблок, подключенный к внешней антенне (рис. 4).

Внутри антенны находятся два столбца поперечно-поляризованных (красные/синие линии для поляризаций $\pm 45^\circ$) диполей. Каждый из четырех РЧ-портов возбуждает

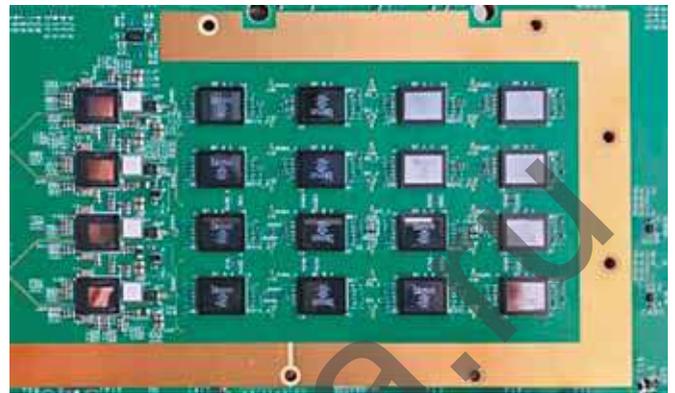


Рис. 2. Компонентная сторона платы AiB256 (AiB означает antenna in board или «антенна на плате»), содержащей 16 формирователей луча и четыре повышающих/понижающих преобразователя мм-диапазона

диполи одной поляризации в одном столбце. В данном примере сигнал с одинаковой фазой и амплитудой разделяется между шестью диполями с одинаковой поляризацией. Наличие большего количества элементов в вертикальном направлении (столбце) сжимает луч в вертикальной плоскости (см. рис. 4). Это требуется потому, что большая часть пользовательского оборудования находится ниже высоты антенны. Часто бывает, что луч немного наклоняется вниз, чтобы больше ограничить зону покрытия соты и избежать помех другим сотам. При расстоянии между элементами антенны, равном $\lambda/2$, ширина луча половинной мощности (угол, при котором мощность передачи падает на 3 дБ относительно пика луча) такой антенны обычно составляет около 90° в горизонтальной плоскости и менее 20° в вертикальной плоскости. Такой широкий луч обычно перекрывает сектор 120° , и его не нужно перенаправлять для отслеживания движения пользовательского оборудования. Высота и ширина антенны составляют $6 \cdot (\lambda/2) = 2$ м и $2 \cdot (\lambda/2) = 0,33$ м соответственно. Коэффициент усиления антенны для каждой поляризации при усилении 5 дБи на дипольный элемент составляет приблизительно $10 \cdot \log(12) + 5$ дБи = 15,8 дБи. Если каждый усилитель мощности обеспечивает 40 Вт (46 дБм) РЧ-мощности, то величина EIRP на поляризацию составит 46 дБм + 3 дБ (два столбца) + 15,8 дБи = 64,8 дБм. Ожидается, что такой уровень EIRP обеспечит хорошее покрытие на расстоянии нескольких км на частоте 900 МГц.

Теперь рассмотрим работу платы AiB256 на частоте 28 ГГц со 128 антенными элементами на поляризацию, расположенными в виде матрицы восемь рядов x 16 столбцов, как показано на рис. 1. При расстоянии между элементами $\lambda/2$ и коэффициенте усиления 5 дБи на элемент, общий коэффициент усиления антенны приблизительно равен $10 \cdot \log(128) + 5$ дБи = 26 дБи. По сравнению с примером для базовой станции на 900 МГц усиление антенны

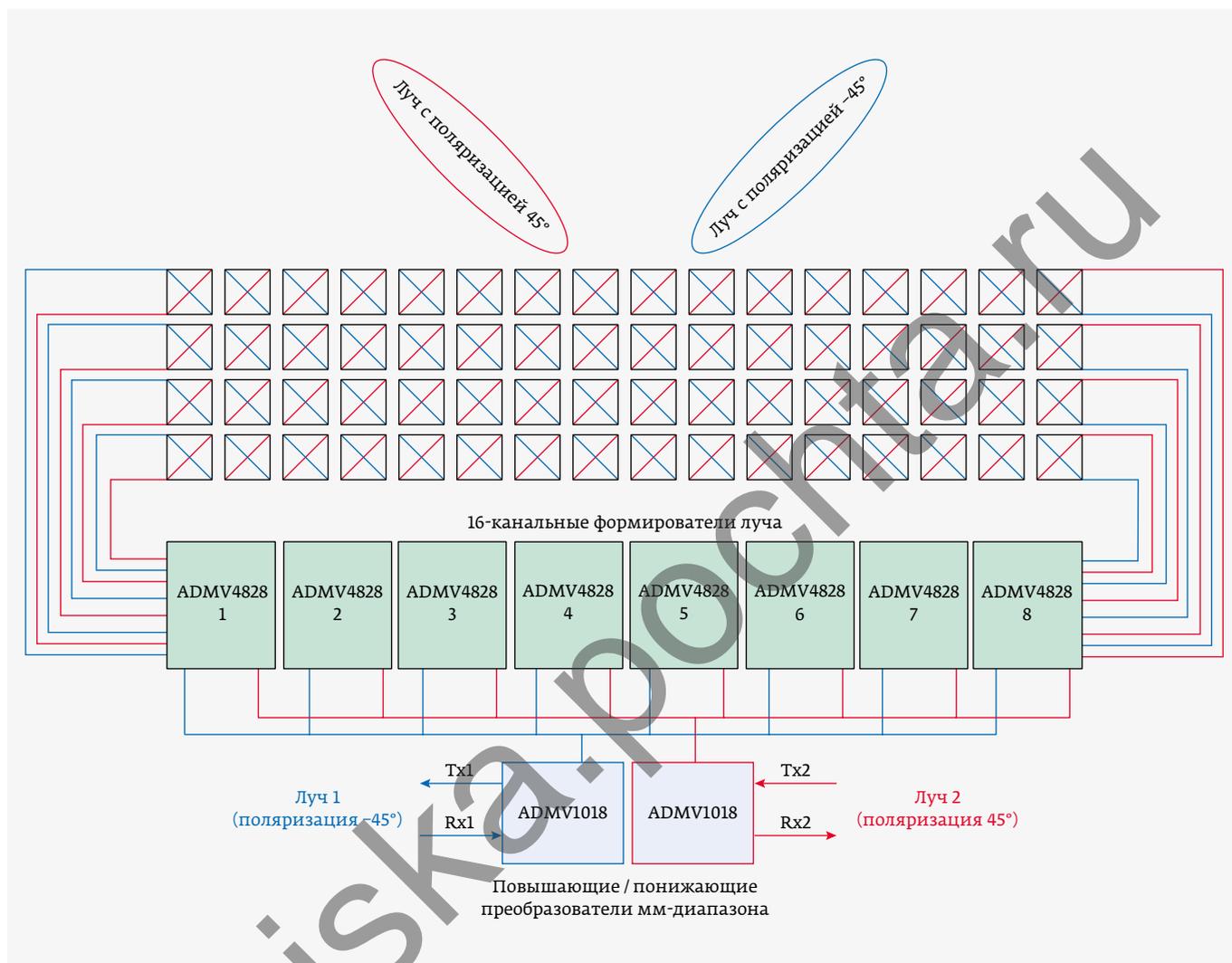


Рис. 3. Функциональная блок-схема для половины схемы AiB256 (показаны не все межкомпонентные соединения)

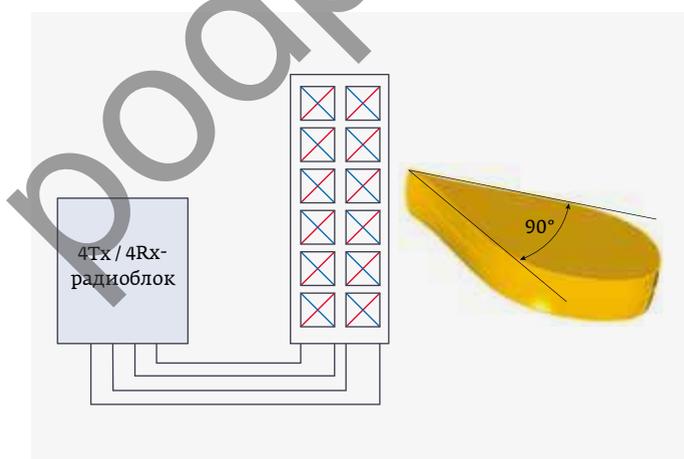


Рис. 4. Базовая станция на 900 МГц с 4Tx/4Rx-радиоблок и двухрядной антенной с двойной поляризацией

на 10,2 дБ выше. Однако это происходит за счет меньшей ширины луча. Ширина луча по уровню 3 дБ составляет всего 12° в вертикальной плоскости и 6° в горизонтальной плоскости. Такой узкий луч не может полностью охватить сектор 120°. Решение состоит в том, чтобы сначала найти активное пользовательское оборудование в зоне покрытия соты, направить на него луч и отследить его перемещение в соте. Стандарты 5G определяют процедуры захвата и отслеживания лучей, что выходит за рамки данной статьи. Чтобы рассчитать величину EIRP такой радиосистемы, предположим, что каждый тракт передачи выдает 13 дБм РЧ-мощности. Полная мощность на поляризацию составляет $13 \text{ дБм} + 10 \cdot \log(128) = 34 \text{ дБм}$. В сочетании с усилением антенны 26 дБи общее значение EIRP на поляризацию составит $34 \text{ дБм} + 26 \text{ дБи} = 60 \text{ дБм}$. В типовом сценарии развертывания вне помещений такой уровень EIRP обеспечивает перекрытие до нескольких сотен метров на частоте 28 ГГц.

ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА ЦИФРОВЫХ ПРЕДЫСКАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ С ЧАСТОТАМИ НИЖЕ 6 ГГц

Стандарты беспроводной связи 5G и 4G основаны на сигналах OFDM с изначально высоким отношением пиковой мощности к средней мощности (PAPR). Чтобы усилить и передать эти сигналы с высоким качеством и избежать засорения соседних каналов, необходимо предусмотреть меры, чтобы не сжимать и не ограничивать пики сигнала. Для этого требуется, чтобы усилитель мощности работал на средних уровнях мощности на 6–9 дБ ниже его максимальной пиковой мощности. Работа усилителя мощности в таком режиме приводит к очень низкому КПД, часто менее 10%.

Эффективные архитектуры усилителей мощности, такие как усилители Доуэрты, поддерживают высокий КПД при работе в режиме на 6–9 дБ ниже пиковой мощности, но их линейность значительно хуже усилителей мощности класса АВ. Если не предусмотреть специальных мер для повышения линейности эти усилители не будут отвечать требованиям приложения по величине вектора ошибки (EVM) и коэффициенту мощности в соседнем канале (ACPR). Одним из наиболее популярных методов линейаризации является метод цифровых предискажений (DPD), который широко применяется в системах с частотой менее 6 ГГц.

В системах с частотами ниже 6 ГГц требуется, чтобы для стандарта 3GPP 38.104 величина EVM не превышала, соответственно, 8 и 3,5% для модуляций 64-QAM и 256-QAM [1]. Для удовлетворения этих требований величина PAPR сигнала должна поддерживаться в пределах от 6 до 9 дБ. Для стандарта 3GPP 38.104 значение ACPR обычно должно быть меньше –45 дБн. В предыдущем примере для 900-МГц 4Tx/4Rx-радиостанции и среднеквадратичной выходной мощности на каждый передатчик, равной 40 Вт, если усилители мощности работают в линейной области для удовлетворения требований EVM и ACPR, их эффективность обычно не превышает 10%. Это означает, что каждый из четырех усилителей мощности потребляет более 400 Вт для того, чтобы обеспечить ВЧ-мощность на уровне 40 Вт. Таким образом, только четыре усилителя мощности потребляют более 1600 Вт! Это серьезно влияет на габариты, эффективность охлаждения, надежность и эксплуатационные расходы радиостанции. Напротив, при использовании усилителя Доуэрты в сочетании с методами снижения пик-фактора (CFR) и DPD КПД усилителя мощности превышает 40%. Это означает, что каждый усилитель мощности потребляет менее 100 Вт для генерирования 40 Вт ВЧ-мощности. Четыре усилителя мощности потребляют менее 400 Вт. Остальная часть радиостанции обычно потребляет менее 50 Вт. Следовательно мощность, потребляемая усилителем, составляет более 85% от общей мощности постоянного тока,

потребляемой радиостанцией, даже если используются усилители Доуэрты с DPD и CFR.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА DPD В АНТЕННАХ мм-ДИАПАЗОНА

На плате AiB256 имеется 256 цепей передачи и приема, способных генерировать два или четыре луча со 128 или 64 усилителями мощности для каждого луча. Как и для систем с частотой менее 6 ГГц, требования по EVM для мм-диапазонов составляют 8 и 3,5% для модуляций 64-QAM и 256-QAM соответственно. Однако требования по ACPR для миллиметрового диапазона намного менее жесткие, чем для частот ниже 6 ГГц; в стандарте 3GPP 38.104 они составляют 28 дБн для частоты 28 ГГц и 26 дБн для 39 ГГц.

Каждый усилитель мощности класса АВ в формирователе луча ADMV4828 может обеспечить пиковую мощность на уровне 21 дБм. Работа усилителей мощности в ADMV4828 при выходной мощности приблизительно 12 дБм (среднеквадратичное значение) оставляет запас в 9 дБ для пиковой мощности и обеспечивает выполнение требований как по EVM, так и по ACPR. При выходной мощности 12 дБм (16 мВт) каждая цепь передачи потребляет около 300 мВт, что дает в результате эффективность, равную 5%. Часть мощности в цепи передачи потребляется регулирующими фазовращателями, которые необходимы для формирования луча. Каждый приемный тракт, включая регулируемые фазовращатели, потребляет около 125 мВт мощности постоянного тока.

Исходя из приведенных выше значений мощности, ясно, что доля потребляемой усилителем мощности в радиостанции миллиметрового диапазона по отношению к общей потребляемой мощности по постоянному току намного меньше по сравнению с радиостанцией, работающей на частоте менее 6 ГГц. В связи с этим возникает вопрос, может ли радиостанция мм-диапазона по-прежнему получить преимущества из-за DPD или нет?

Чтобы ответить на этот вопрос, следует разработать подходящую архитектуру для DPD в мм-диапазоне длин волн. Реализация метода DPD в системах мм-диапазона аналогично системам, работающим на частотах ниже 6 ГГц, требует наличия петли DPD около каждого усилителя мощности. В примере для AiB256 это будет означать 256 петель DPD! Очевидно, что такой подход очень дорог и энергозатратен. Поскольку каждый усилитель мощности выдает небольшую мощность (обычно 12 дБм), общая эффективность системы с DPD, скорее всего, будет меньше, чем у системы без DPD.

К счастью, у этой проблемы есть изящное решение. Плата AiB256 может формировать максимум четыре луча, используя 64 усилителя мощности в каждом луче (см. рис. 3). Это означает, что каждый усилитель мощности получает на входе тот же сигнал, что и другие

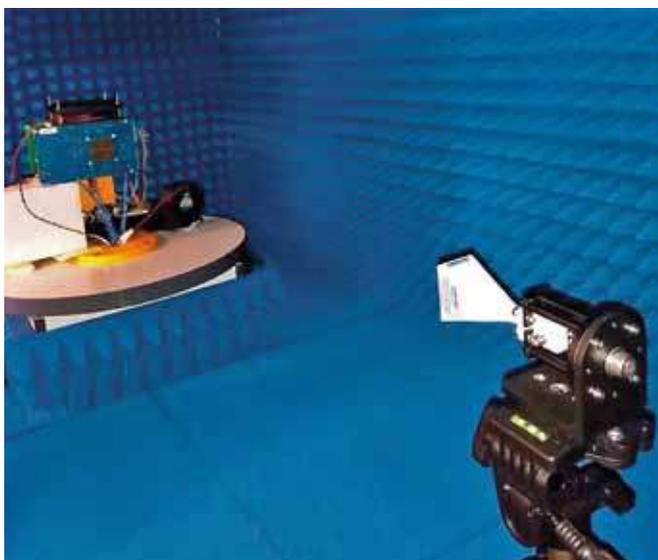


Рис. 5. Рупорная антенна дальней зоны в качестве приемника наблюдения DPD

63 усилителя, не считая относительного фазового сдвига для управления лучом. Если одним контуром DPD охватить кластер из 64 усилителей мощности, то понадобится всего четыре петли DPD для всей антенной решетки AiB256. Другими словами, контур DPD реализуется для каждого луча, а не для каждого усилителя мощности. Назовем это групповым DPD, чтобы отличить его от DPD для систем с частотой менее 6 ГГц, в которых каждый усилитель мощности имеет свою петлю DPD.

Приемник наблюдения должен «смотреть» в точку визирования луча, в которой сигналы от всех усилителей мощности суммируются синфазно, чтобы он мог скорректировать искажение, вызванное интегральной агрегацией 64 усилителей мощности в дальней зоне. Для оценки на раннем этапе проектирования мы использовали рупорную антенну дальней зоны в качестве приемника наблюдения DPD (рис. 5) и продемонстрировали, что для луча может быть реализован один контур DPD для улучшения показателей EVM и ACPR. В будущих изделиях Analog Devices можно будет создать интегрированный канал наблюдения, чтобы упростить реализацию DPD.

В тестовой установке использовались интегрированные трансиверы ADRV9029 со встроенными функциями CFR и DPD для сигналов с полосой до 200 МГц. В будущих поколениях трансиверы Analog Devices будут поддерживать полосу пропускания не менее 400 МГц с DPD.

Наш анализ показал, что групповое DPD мм-диапазона может повысить EIRP луча более чем на 3 дБ (от 1,5 до 3,2 дБ) в диапазоне частот от 26,5 до 29,5 ГГц. При оптимизации согласования на выходе и смещения формирователя луча на определенных частотах можно обеспечить среднее квадратичное значение выходной мощности

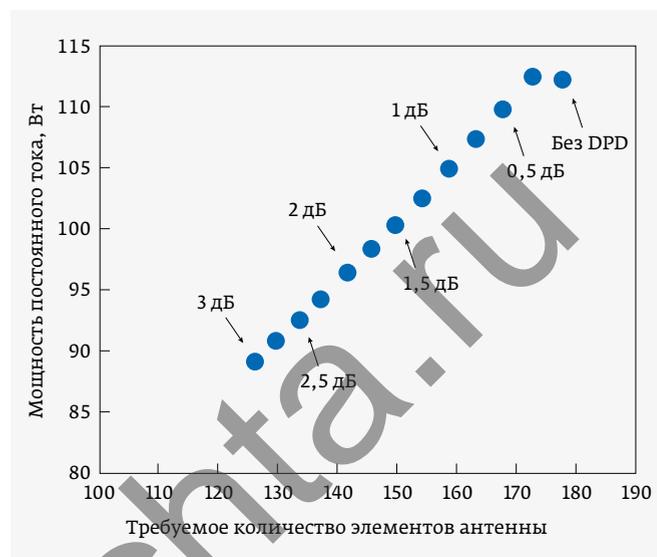


Рис. 6. Требуемое количество элементов антенны и потребляемая мощность постоянного тока в зависимости от уровня повышения EIRP из-за DPD

до 13 дБм при сохранении показателей EVM и ACPR. Однако невозможно сохранить такие характеристики в широком диапазоне частот и на множестве устройств. В качестве альтернативы, при выполнении определенных условий (уровень мощности в режиме насыщения усилителя мощности должен быть выше 21 дБм), использование DPD неизменно обеспечивает выходную мощность более 14 дБм во всем интересующем диапазоне.

В спецификации антенных решеток мм-диапазона ключевым требованием является величина EIRP для луча антенны. Если мощность на один элемент антенны относительно мала, то для достижения целевого значения EIRP требуется множество элементов, что, в свою очередь, увеличивает стоимость, потребление и габариты антенны. Чем больше элементов в антенне, тем уже луч. Более узкие лучи не всегда желательны; они усложняют наведение луча и отслеживание мобильных пользователей. График на рис. 6 показывает зависимость количества требуемых элементов и мощности, потребляемой антенной решеткой, от того, насколько DPD повышает EIRP (в диапазоне от 0 до 3 дБ) при сохранении целевого показателя EIRP на уровне 60 дБм.

Если повышение EIRP на 3 дБ достигается за счет применения DPD, количество требуемых элементов уменьшается почти на 30%, а рассеиваемая мощность снижается примерно на 20%. По сравнению с примером для системы с частотой менее 6 ГГц, где DPD снижает энергопотребление усилителя мощности в четыре раза, экономия энергии в антенне мм-диапазона не столь значительна. Однако для оборудования мм-диапазона мы получим дополнительный выигрыш, который состоит в том, что

уменьшение количества элементов на 30% значительно снижает стоимость и габариты антенной решетки. В будущем можно будет использовать более эффективные архитектуры усилителей мощности в формирователях луча мм-диапазона для дальнейшего повышения энергоэффективности с применением DPD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация DPD в антенных решетках для сетей 5G миллиметрового диапазона ставит новые задачи по сравнению с системами для частот ниже 6 ГГц. Охват DPD-контуром кластера усилителей мощности, формирующих луч антенны, в отличие от отдельных DPD-контуров для каждого усилителя мощности, делает возможным и полезным применение групповых DPD. Анализ показал, что можно получить ощутимые преимущества с точки зрения более высокой выходной мощности, снижения потребления и уменьшения количества единиц оборудования. Тем не менее, следует осмотрительно подходить к применению DPD: в системах мм-диапазона этот метод требует иного подхода, по сравнению с системами,

работающими на частотах ниже 6 ГГц. По мере развития архитектуры усилителей мощности мм-диапазона пути реализации метода DPD в системах связи стандарта 5G могут меняться, что, возможно, потребует переосмысления перспектив применения этого метода.

По вопросам поставки продукции Analog Devices обращайтесь в компанию ЭЛТЕХ по электронной почте analog@eltech.spb.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3GPP TS 38.104: Base Station (BS) Radio Transmission and Reception. 3GPP, March 2017.
2. **Delos P., Broughton B., Kraft J.** Phased Array Antenna Patterns. Part 1: Linear Beam Array Characteristics and Array Factor. – Analog Dialogue, Vol. 54, No. 2, May 2020.
3. **Delos P., Broughton B., Kraft J.** Phased Array Antenna Patterns. Part 2: Grating Lobes and Beam Squint. – Analog Dialogue, Vol. 54, No. 2, June 2020.
4. **Delos P., Broughton B., Kraft J.** Phased Array Antenna Patterns. Part 3: Sidelobes and Tapering. – Analog Dialogue, Vol. 54, No. 3, July 2020.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ

Хансен Р. С.

2-е изд.; пер. с англ. под ред. А. И. Синани

При поддержке ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В. В. Тихомирова»

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2012. – 544 с.,
ISBN 978-5-94836-323-3

Цена 975 руб.

В книге дается всесторонний анализ особенностей проектирования и исследования характеристик фазированных антенных решеток и входящих в них систем. Особое значение придается рассмотрению алгоритмов, пригодных для использования на ПК.

Книга предназначена для научных работников и инженеров, занимающихся исследованиями и разработками фазированных антенных решеток, а также для аспирантов и студентов старших курсов, специализирующихся в области антенн и устройств СВЧ.

Книга также будет интересна широкому кругу специалистов, поскольку в ней представлена обширная информация о различных типах антенных устройств с электронным управлением лучом и входящих в них функциональных системах.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphere.ru, sales@technosphere.ru

Допустимая пропускаемая мощность радиочастотных соединителей. Критерии выбора

К. Джурицкий, к. т. н.¹, А. Сотников²

УДК 621.389 | ВАК 05.27.01

Неправильно выбранные радиочастотные коаксиальные соединители и кабели могут сделать неэффективной любую сложную многофункциональную систему, в состав которой они входят. Данная статья посвящена обоснованию критериев выбора радиочастотных соединителей на базе справочных материалов*. Основное внимание уделено проблеме выбора соединителей с допустимой пропускаемой мощностью. Приведены данные о допустимой мощности зарубежных и отечественных соединителей.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА РАДИОЧАСТОТНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ

Радиочастотные соединители обеспечивают жизненно важные соединения в устройствах связи, вещания, испытаний и измерений, коммерческих и военных системах. При выборе соединителя необходимо учитывать его следующие технические характеристики.

- **Волновое сопротивление:** 50 или 75 Ом.
- **Диапазон рабочих частот.**
- **«Пол» и полярность соединителя:** вилка или розетка, прямой или обратной полярности. Законченная конструкция соединителя представляет собой сочетание пары вилка – розетка. Принято считать, что вилка – это часть пары, которая имеет штыревой центральный контакт, а розетка – гнездовой контакт, что не вызывает сомнений в случае соединителей, выполненных с резьбой на корпусе [1, 2]. Но существует и другое определение «пола» соединителя. «Пол» определяется не видом центрального контакта – штырь или гнездо, а исключительно видом резьбы на корпусе соединителя. Согласно этому утверждению все резьбовые радиочастотные соединители с внутренней резьбой на корпусе являются соединителями вилка, а с резьбой на внешней части корпуса – соединителями розетка, независимо от их полярности. После определения «пола» соединителя по виду резьбы на корпусе (внутренняя или внешняя) можно установить его полярность. Электрические характеристики стандартных

соединителей и их аналогов обратной полярности одинаковые [2].

- **Вид соединения вилки и розетки.** В настоящее время наряду с традиционным резьбовым соединением разработаны соединения: байонетное, защелкиванием (snap-on, push-on), блокировка (lock-on), «вслепую» (blind mate), скользящее (quick lock) [1].
- **Электрические параметры применяемого радиочастотного кабеля** (гибкого, полужесткого, формованного вручную), а также способ заделки кабеля в соединитель: пайка, обжим, прижим [3].
- **КСВН и вносимые потери в рабочем диапазоне частот, величина экранного затухания.**
- **Напряжение пробоя (Breakdown Voltage), испытательное напряжение (DWV – Dielectric Withstanding Voltage) и максимальное рабочее напряжение (Working Voltage).** Напряжение пробоя – это максимальное напряжение, которое может выдержать соединитель без значительного возрастания тока утечки и разрушения. Рабочее напряжение – максимальное напряжение, при котором соединитель должен работать с заданными параметрами в течение всего срока службы. Рабочее напряжение составляет 1/4 от напряжения пробоя и зависит как от конструкции соединителя, так и от конкретных условий эксплуатации [3]. При указании рабочего напряжения в спецификации должны быть приведены значения температуры и атмосферного давления на уровне моря или на высоте 70 000 футов (21,3 км). Рабочее напряжение большинства стандартных соединителей 500 В.
- **Условия эксплуатации:** диапазон рабочих температур, применение – наружное или внутри помещения, способ установки в изделие, необходимая

¹ АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина, kbd.istok@mail.ru.

² АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина, tuluslat@gmail.com.

* На основе анализа справочных материалов обсуждаются проблемы выбора соединителей по допустимой пропускаемой мощности.

герметичность соединителя, гарантированное количество соединений и разъединений вилки и розетки.

- **Габаритные, присоединительные и установочные размеры и масса соединителя, используемые материалы и покрытия.** Хотя важнейшей тенденцией создания современных радиоэлектронных средств является миниатюризация всех составляющих компонентов, необходимо учитывать, что с уменьшением размеров радиочастотных соединителей снижается и допустимая пропускаемая мощность.
- **Стойкость к внешним воздействующим факторам.**
- **Надежность** (долговечность, сохраняемость).
- **Стоимость.** Нередко из-за ограниченности финансирования приходится отказываться от соединителей с высоким уровнем параметров, но имеющих высокую стоимость. Однако для изделий высокой сложности и повышенной надежности на соединителях нельзя экономить, слишком велика их значимость в обеспечении выходных параметров изделий.
- **Допустимая пропускаемая мощность соединителя.** Допустимая пропускаемая мощность определяет надежность самого соединителя и устройства, в котором соединитель установлен. Это особенно важно для соединителей, применяемых в мощных военных радарх и спутниковом оборудовании. Однако этот параметр нередко вообще не приводят в спецификациях на соединители или приводят без указания условий (частота, температура, давление), при которых он был определен. Поэтому вопрос о допустимой пропускаемой мощности радиочастотных соединителей требует отдельного рассмотрения.

ВИДЫ МОЩНОСТИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ РАДИОЧАСТОТНЫМ СОЕДИНИТЕЛЕМ

Радиочастотные соединители предназначены для передачи периодических импульсных и непрерывных сигналов. Прежде всего, необходимо определить вид передаваемой мощности соединителя: непрерывная (CW Power) или импульсная (Pulse Power), средняя (Average Power) или пиковая (Peak Power) мощности. CW Power – это мощность непрерывной электромагнитной волны постоянной амплитуды и частоты [4]. Средняя импульсная мощность $P_{\text{ср}}$ – среднее значение мощности сигнала, измеренное за период повторения импульсов, пиковая мощность $P_{\text{пик}}$ – наибольшее мгновенное значение мощности сигнала в импульсе. Пиковая мощность соединителя зависит от его КСВН, скважности импульсов температуры и давления окружающей среды. Максимальная пиковая мощность определяется напряжением пробоя между внутренним и наружным проводниками его коаксиальной линии и волновым сопротивлением коаксиальной линии [2].

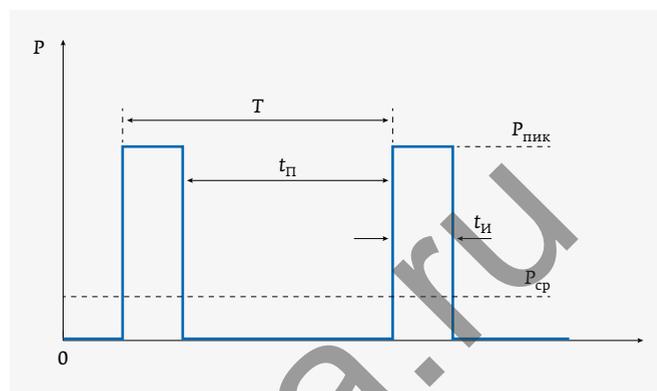


Рис. 1. Параметры периодического импульсного сигнала

Соотношение между средней и пиковой мощностями поясняется рис. 1 и определяется следующей формулой: $P_{\text{ср}} = P_{\text{пик}} \frac{t_{\text{и}}}{T}$, где $t_{\text{и}}$ – длительность импульса, T – период повторения импульсов.

При работе с импульсными сигналами необходимо учитывать, что соединители могут пропускать импульсную мощность, превышающую их номинальную мощность в непрерывном режиме. Это происходит из-за времени отключения импульса в паузе импульса ($t_{\text{п}}$), когда в соединителе не выделяется тепло и происходит его охлаждение. Однако средняя мощность за полный цикл сигналов не должна превышать номинальную непрерывную мощность.

Допустимая пропускаемая мощность определяется конструкцией соединителя, размерами его коаксиальной линии, термическими свойствами применяемых материалов и зависит от частоты, КСВН соединителя, температуры и давления окружающей среды. Она снижается в случае, если количество тепла, выделяемого в соединителе за счет потерь проводимости и диэлектрических потерь, превышает количество тепла, отводимого в окружающую среду. Температура соединителя стабилизируется, когда количество тепла, выделяемого в соединителе в результате потерь пропускаемой мощности, станет равным количеству тепла, отводимому от поверхности соединителя в окружающую среду. Эта температура определяет максимально допустимую «тепловую» мощность соединителя.

Материалы, используемые в соединителе, влияют на допустимую пропускаемую мощность, особенно это относится к применяемым диэлектрикам. В большинстве соединителей с предельной частотой 18 ГГц наиболее широко используют политетрафторэтилен (PTFE) – фторопласт. В соединителях 3.5 mm, 2.92 mm, 2.4 mm, 1.85 mm и 1.0 mm с воздушной коаксиальной линией опорные шайбы изготавливают из фторполимеров Ultem 1000,

Peek, Noryl EN265. Эти диэлектрики обеспечивают стабильность электрических параметров соединителей повышенной рабочей частоты и пропускаемой мощности, а также при работе в условиях радиационных и механических воздействий.

Распределение температуры в соединителе неравномерно в радиальном направлении. Самая высокая температура – в области, ближайшей к центральному проводнику, где электромагнитное поле наиболее сконцентрировано. В этой области температура диэлектрика может превышать допустимую для него температуру нагрева. Максимально допустимые рабочие температуры для диэлектриков PTFE, Ultem 1000, Peek, Noryl EN265 соответственно равны 260, 250, 170 и 190 °С [3].

Средняя мощность при очень коротких импульсах импульсной мощности высокого уровня может быть даже менее ее допустимого уровня. Однако необходимо учитывать, что увеличение уровня мощности происходит в результате возрастания напряженности электромагнитного поля. Но увеличение напряженности поля возможно только до определенного предела. При достижении предельной (пробивной) напряженности может произойти пробой диэлектрической изоляции в соединителе в результате ионизационного или мультитакторного высокочастотных разрядов при воздействии СВЧ-поля в замкнутых воздушных полостях (зазорах) между проводниками его коаксиальной линии [3, 5, 6].

Высокочастотный ионизационный разряд, переходящий в коронный, – это газовый разряд, возникающий в результате воздействия высокочастотного поля высокой мощности. Коронный разряд маловероятен в высоком вакууме при давлении воздуха, меньшем 10^{-5} мм рт. ст. [3].

Мультитакторный (вторично-эмиссионный микроволновый разряд) может возникнуть в замкнутых полостях соединителя в результате развития электронной лавины, вызванной вторичной электронной эмиссией с поверхности проводников соединителя, бомбардируемых электронами, ускоренными в СВЧ-поле. Мультитакторный пробой ограничивает пропускаемую мощность соединителя при давлении ниже 10^{-5} мм рт. ст. (такое давление на высоте свыше 150 км). При более высоких давлениях вероятность мультитакторного пробоя невелика.

По данным американской компании Gore & Associates [5] для соединителя SMA:

- при соотношении $f \cdot \delta < 0,7$ ГГц мм доминирует мультитакторный разряд;
- при $f \cdot \delta > 2$ ГГц мм – ионизационный газовый разряд;
- при $2 < f \cdot \delta < 0,7$ ГГц мм – возможны оба вида разряда, где f – частота, ГГц, δ – зазор между проводниками, мм.

Компания Mega Phase предложила простое правило оценки возможности появления ионизационного или

мультитакторного пробоя в соединителях, работающих на большой высоте. Ионизационный пробой возможен, если высота равна от 21,3 до 160 км, мультитакторный пробой – на высоте более 161 км [6].

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОПУСТИМУЮ ПРОПУСКАЕМУЮ МОЩНОСТЬ СОЕДИНИТЕЛЯ

Допустимая пропускаемая мощность соединителя зависит не только от частоты, но и от условий, в которых должен работать соединитель. При выборе соединителя необходимо учитывать, что его допустимая мощность будет зависеть от температуры и давления окружающей среды, а также от КСВН соединителя.

Рассмотрим влияние этих параметров на допустимую мощность соединителя [5, 7, 8].

Температура

При повышении температуры окружающей среды происходит снижение количества тепловой энергии, которая может быть отведена от поверхности соединителя в окружающую среду конвекцией или теплопроводностью. Кроме того, при возрастании температуры изменяются характеристики примененных в соединителе материалов: теплопроводность, излучающая способность, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, удельное сопротивление. Эти сложные эффекты приводят к температурной зависимости допустимой мощности соединителя.

Высота / Давление

С подъемом на высоту относительно уровня моря атмосферное давление уменьшается в соответствии с барометрической формулой: $P_{\text{мм.рт.ст.}} = 760e^{-0,00012h}$ [9]. Так на высоте 70 000 футов (21,3 км), которую обычно указывают в data sheet на соединители, оно равно 60 мм рт. ст. (приблизительно в 12,7 раз меньше, чем на уровне моря). При снижении давления уменьшается количество тепловой энергии, которая может быть отведена от соединителя в окружающую среду путем естественной конвекции. Процесс конвекции на границе раздела соединителя и окружающей среды зависит от многих факторов: динамической вязкости, проводимости, удельной теплоемкости, объемной массы воздуха и др.

КСВН

С ростом частоты увеличивается КСВН соединителей. В результате суперпозиции падающей и отраженной волн напряжение и ток вдоль коаксиальной линии соединителя имеют максимумы и минимумы. Более высокий уровень отражения приводит к снижению напряжения пробоя соединителя, а значит, к уменьшению допустимой пропускаемой мощности. Подключение соединителя с низким уровнем КСВН к несогласованной нагрузке

www.monolit.by

МОНОЛИТ

ВИТЕБСКИЙ ЗАВОД РАДИОДЕТАЛЕЙ

**МНОГОСЛОЙНЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ
КОНДЕНСАТОРЫ**

**ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ
ПРОДУКЦИЯ**

для высоконадёжной аппаратуры

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ

с положительным температурным
коэффициентом сопротивления

**РЕГИСТРЫ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ**

210101, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ
г. Витебск, ул. М. Горького, 145

Отдел маркетинга и сбыта:
тел.: + 375 (212) 36-44-52;
+ 375 (212) 36-45-34
факс: + 375 (212) 36-44-65
e-mail: monolmarket@mail.ru
monosbet@mail.ru



Акционерное общество
«СПЕЦ-ЭЛЕКТРОНКОМПЛЕКТ»



www.monolit.by

**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИЛЕР
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Почтовый адрес: 125319, г. Москва, а/я 92.
Офис: г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 2
+7 (495) 234-01-10, факс: +7 (495) 956-3346
sales@zolshar.ru

также приводит к уменьшению пропускаемой мощности. Зависимость пропускаемой мощности соединителя от КСВН, полученная компанией AR RF/Microwave Instrumentation [8], показана на рис. 2.

Выбранную номинальную среднюю мощность соединителя необходимо уменьшить с учетом поправочных (понижающих) коэффициентов для КСВН, температуры окружающей среды и высоты / давления. Для этого компания Radiall [7] предлагает применять следующую формулу:

$$P = P_{\text{ном}} \cdot C_T \cdot C_h \cdot C_{\text{КСВН}}$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальное значение допустимой мощности при условии: КСВН=1, температура 20 °С и давление на уровне моря (760 мм. рт. ст.);

C_T – понижающий коэффициент для повышенной температуры окружающей среды;

C_h – понижающий коэффициент для давления в зависимости от высоты над уровнем моря;

$C_{\text{КСВН}}$ – понижающий коэффициент для КСВН.

Частотные зависимости пропускаемой мощности по данным зарубежных компаний

Несколько зарубежных компаний опубликовали обобщенные данные о средней допустимой мощности соединителей разных типов в зависимости от частоты [7, 8, 10–18]. Графические зависимости средней мощности соединителей от частоты, построенные в двойных логарифмических координатах, представляют собой прямые линии [2].

Частотные зависимости средней пропускаемой мощности радиочастотных соединителей разных типов, по сведениям американской компании *Maury Microwave*, показаны на рис. 3 [10]. Эти данные приведены для следующих условий: КСВН равен 1, температура 25 °С, давление окружающей среды на уровне моря (760 мм рт. ст.).

Частотные зависимости средней мощности радиочастотных соединителей основных типов, по данным американских компаний *Absolute EMC* [11] и *AR RF/Microwave Instrumentation* [8], показаны на рис. 4.

Эти данные получены для нормальных значений температуры и давления окружающей среды и при согласованном сопротивлении источник/нагрузка (КСВН=1). Большие радиочастотные соединители 15/8 EIA и 7/8 EIA предназначены для приложений с высокой мощностью.

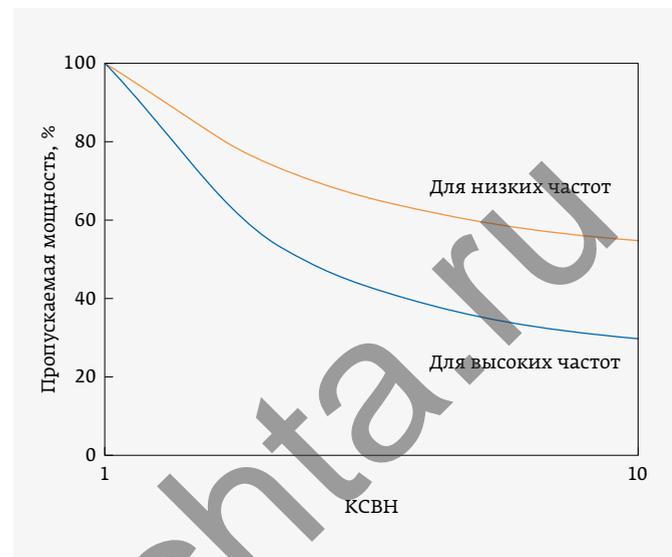


Рис. 2. Пропускаемая мощность соединителя в зависимости от КСВН

Частотные зависимости допустимой средней пропускаемой мощности соединителей, приведенные в работе [12], показаны на рис. 5. Эти данные получены для комнатной температуры и давления окружающей среды на уровне моря. Кроме того, соединители имеют волновое сопротивление 50 Ом и КСВН менее 1,35. При этом отраженная мощность мала и 97,7% падающей мощности поступает в нагрузку.

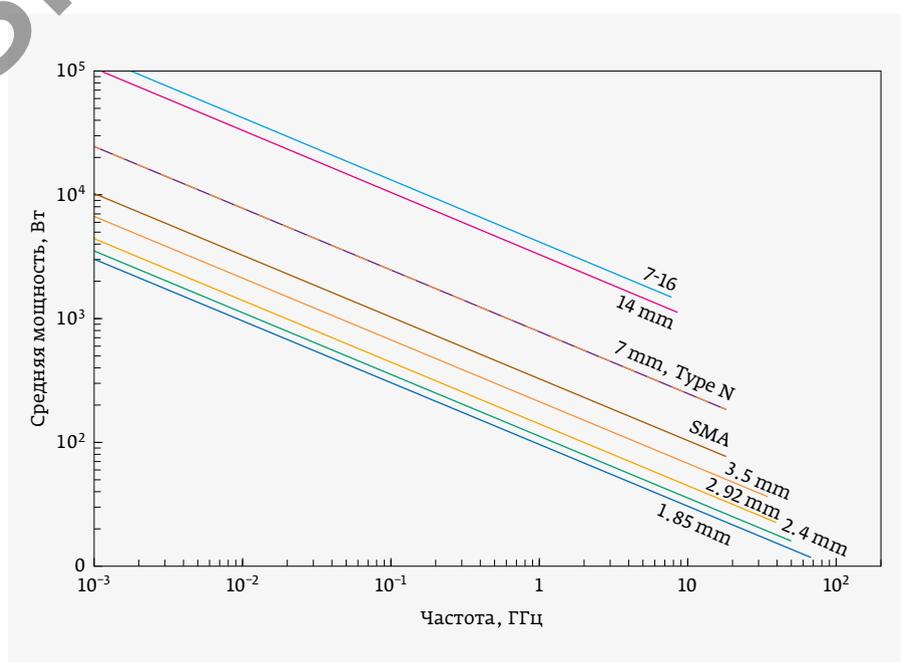


Рис. 3. Частотные зависимости средней пропускаемой мощности радиочастотных соединителей разных типов (компания Maury Microwave)



КУЛОН

общество с ограниченной ответственностью

КРУПНЕЙШИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ пассивных электронных компонентов специального (для обеспечения Гособоронзаказа) и народно-хозяйственного назначения, в том числе:

- ⚡ **универсальных серий многослойных керамических конденсаторов;**
- ⚡ **многослойных керамических конденсаторов специального назначения**, предназначенных для работы в СВЧ- и УВЧ-диапазонах, отличающихся низкими диэлектрическими потерями;
- ⚡ **керамических конденсаторов трубчатой и дисковой многослойной конструкции**, применяемых как помехоподавляющие элементы аппаратуры;
- ⚡ **проходных фильтров**, созданных на основе емкостных элементов указанных конструкций и предназначенных для подавления высокочастотных помех в аппаратуре.



Официальный
поставщик

www.zolshar.ru

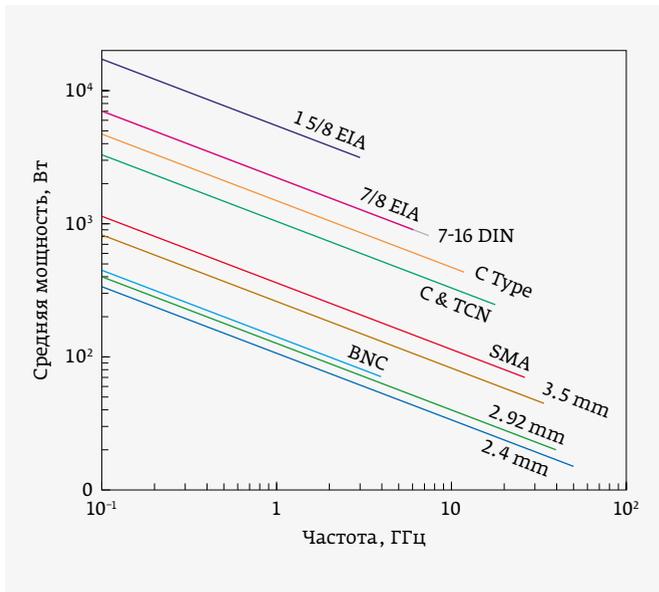


Рис. 4. Частотные зависимости средней пропускательной мощности радиочастотных соединителей основных типов (компания Absolute EMC и AR RF/Microwave Instrumentation)

Компания AN Systems специализируется на разработке и производстве современных антенн и технических средств, предназначенных для испытаний на электромагнитную совместимость [13]. По данным этой компании, наиболее широко применяемые соединители имеют

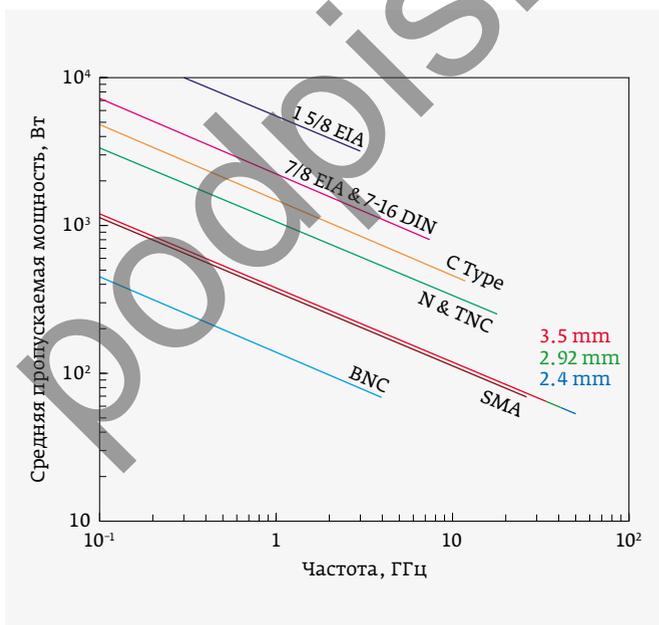


Рис. 5. Частотные зависимости средней пропускательной мощности радиочастотных соединителей разных типов [12]

Таблица 1. Предельная частота и номинальная пропускательная мощность соединителей

Тип соединителя	Предельная частота, ГГц	Номинальная мощность, Вт
7-16 DIN	7,5	850
Стандартный N	11	150
Прецизионный N	18	250
Прецизионный SMA	26,5	70
3.5 mm	34	45
2.92 mm	40	20
2.4 mm	50	15

предельную частоту и величины номинальной допустимой пропускательной мощности, приведенные в табл. 1.

Средняя допустимая пропускательная мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты по данным этой компании представлена на рис. 6.

Частотные зависимости средней мощности соединителей разных типов при комнатной температуре и давлении окружающей среды на уровне моря по данным американской компании Mega Phase показаны на рис. 7 [14].

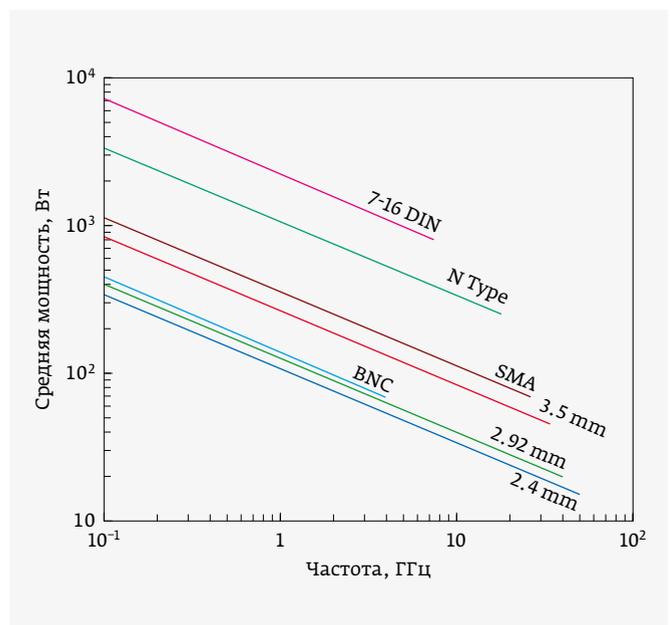


Рис. 6. Средняя мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты (компания AN Systems)

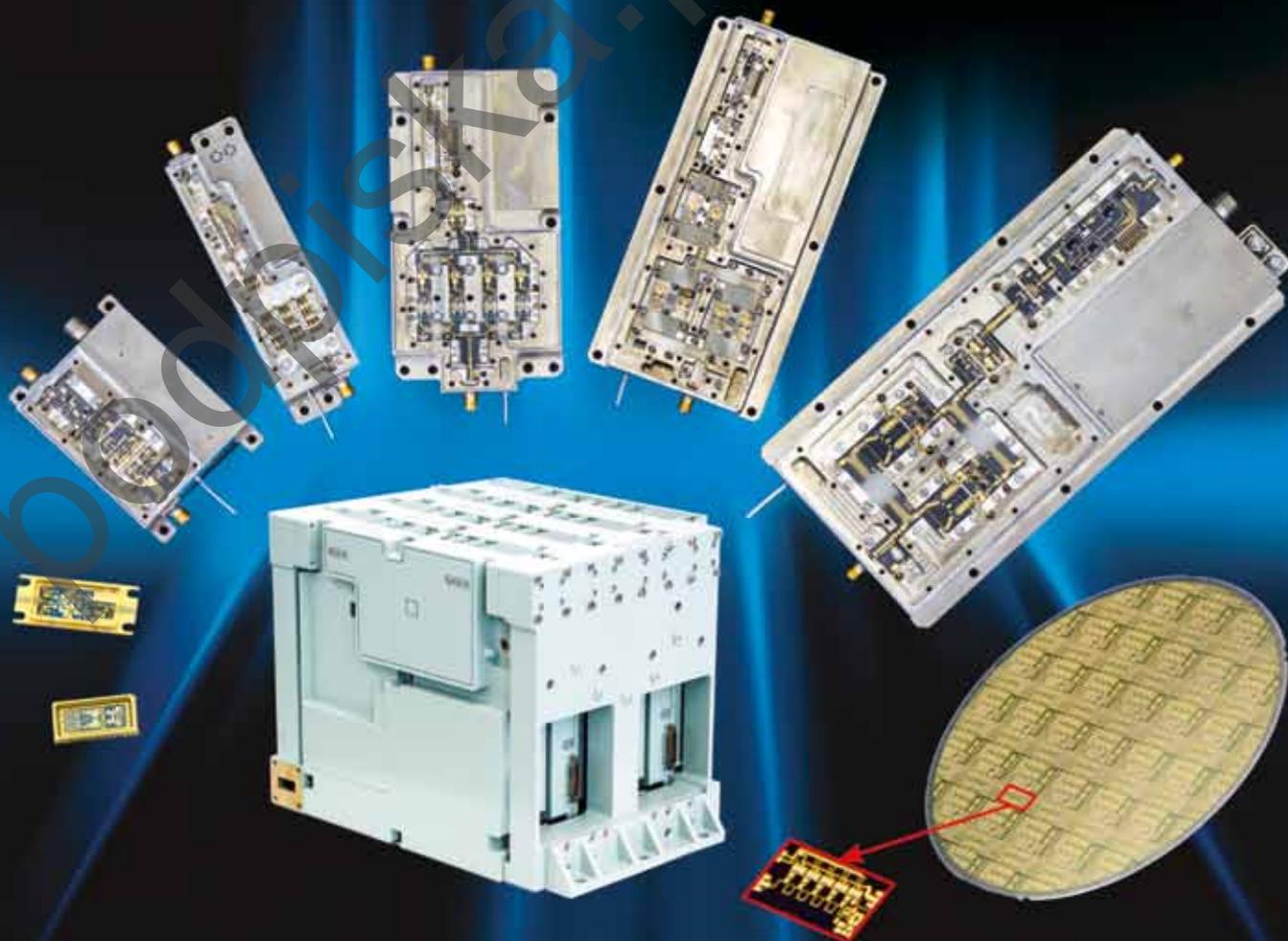


ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62
(многоканальный)
Факс +7(499) 644-19-70
E-mail: mwsystems@mwsystems.ru
www.mwsystems.ru

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»



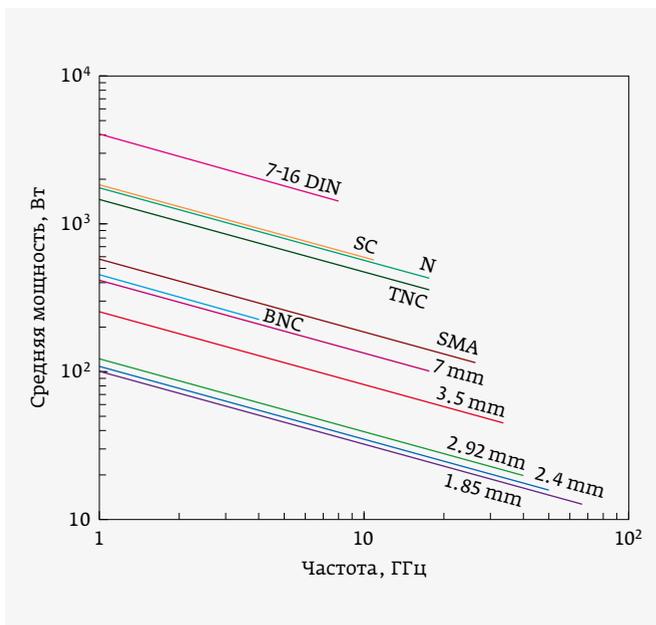


Рис. 7. Средняя мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты (компания Mega Phase)

Подробные данные о номинальной допустимой средней мощности соединителей приведены известной американской компанией *Southwest Microwave* – рис. 8 [15]. Значения понижающих коэффициентов в зависимости от температуры и давления атмосферы на разной высоте относительно уровня моря приведены в табл. 2.

В качестве примера рассчитаем допустимую среднюю пропускаемую мощность широко применяемого соединителя SMA на частоте 8 ГГц при температуре 80 °С

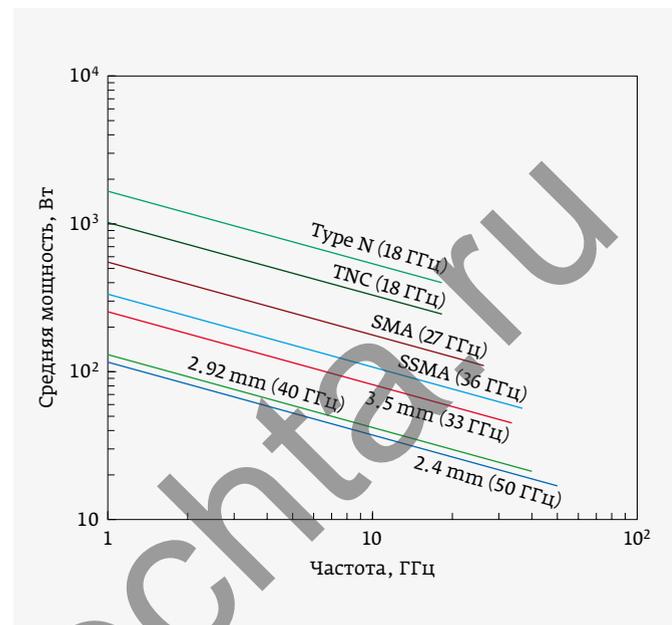


Рис. 8. Средняя мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты (компания Southwest Microwave)

и атмосферном давлении 124 мм рт. ст. (на высоте 15,24 км). Сначала определим номинальное значение средней мощности по приведенному графику – 200 Вт. С учетом понижающих коэффициентов – $0,8 \cdot 0,5 = 0,40$ фактическая мощность должна быть равна $200 \cdot 0,4 = 80$ Вт.

Французская компания *Radiall* приводит подробную информацию о средней допустимой пропускаемой мощности кабельных соединителей основных типов

Таблица 2. Понижающие коэффициенты номинальной средней мощности соединителей

Температура, °С	Понижающий коэффициент	Высота, км (давление, мм рт. ст.)	Понижающий коэффициент
0	1,2	На уровне моря (760)	1,0
40	1,0	6,1 (368)	0,8
80	0,8	9,14 (256)	0,7
120	0,6	12,19 (178)	0,6
160	0,4	15,24 (124)	0,5
200	0,2	18,29 (86)	0,4
240	0,05	21,3 (60)	0,3

Таблица 3. Средняя и пиковая мощности соединителей повышенной мощности

Тип соединителя	Средняя мощность, Вт, на частотах				Пиковая мощность, кВт
	100 МГц	500 МГц	1 ГГц	5 ГГц	
SMA, BMA	550	225	170	60	1,2
BZ(L), ZMA(L)	800	375	250	–	2,7 (0–12,4 ГГц) 6,7 (0–2 ГГц)
TNC	1 800	1 375	875	333	2,8
N	3 000	1 750	1 050	500	4,9
C, SC	3 500	2 150	1 500	700	11
7-16	5 000	2 750	1 800	900	20
HN	3 800	2 300	1 600	–	31
LC	6 800	3 600	2 500	–	31
7/8 EIA	5 500	2 800	1 850	–	44

для предельной рабочей частоты, а также поправочные коэффициенты для частоты, КСВН, температуры и давления [7]. Предложены следующие значения этих коэффициентов:

$$C_{\text{КСВН}} = \frac{(\text{КСВН} + 1)^2}{4 \cdot \text{КСВН}^2}, C_T = 1 - \frac{5,0 \dots 7,5(T - 20)}{1000},$$

$$C_h = 1 - 0,033h,$$

где T – температура, °С, h – высота над уровнем моря, км. Для абсолютного вакуума $C_h = 0,2$.

Компания *Amphenol/SV Microwave* является производителем радиочастотных соединителей повышенной мощности. Допустимые средняя и пиковая мощности этих соединителей приведены в табл. 3 [16].

Компания *Amphenol/SV Microwave* достигла увеличения допустимой мощности соединителей за счет использования специальных диэлектриков: фторопласта, армированного стеклом (Fluoropoly H) или нитридом бора [16].

Частотные зависимости средней пропускаемой мощности соединителей 19 типов приведены на рис. 9 [17]. Эти данные интересны тем, что они отражают допустимую среднюю мощность соединителей на частотах до 300 МГц (за пределами диапазона СВЧ).

Наконец, компания *Power Antenna Manufacturing Inc.*, США – разработчик и производитель антенн и периферийных устройств в диапазоне частот от 40 до 2 000 МГц,

создала калькулятор расчета средней пропускаемой мощности соединителей разных типов с волновым сопротивлением 50 Ом [18]. Расчеты выполнены при условии, что КСВН=1,0 и давление сухого воздуха – атмосферное. Однако этот калькулятор выдает заниженные значения средней пропускаемой мощности – средняя мощность соединителя SMA на частоте 8 ГГц составляет всего 33,541 Вт, что значительно меньше, чем у других компаний.

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ РАЗНЫХ КОМПАНИЙ

Точное определение допустимой пропускаемой мощности радиочастотных соединителей является сложной задачей. Чтобы сравнить допустимую среднюю мощность одинаковых соединителей разных производителей,

ООО СМП ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные компоненты
для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Разборные металлические EMI SMD экраны
- Кварцевые генераторы 0532 на частоты до 125 МГц

Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32, e-mail: sales@smd.ru
Тел.: (495) 758-7295, (495) 942-6244, (495) 943-8700

Таблица 4. Средняя мощность соединителей SMA и N по данным разных компаний

Тип соединителя	Источники информации в данной статье						
	[10]	[7, 8]	[12]	[13]	[14]	[15]	[17]
SMA	100	110	120	110	190	180	200
N	270	310	320	320 250	580	580	>500

нужно знать методику ее измерения и условия, при которых мощность была определена. Необходимы данные о температуре, давлении атмосферного воздуха (обычно указывают высоту над уровнем моря, на которой будет работать соединитель) и КСВН, а также соответствующие поправочные (понижающие) коэффициенты мощности.

Сравнение данных о средней допустимой мощности соединителей одинакового типа, представленной разными компаниями (рис. 3–9), выявило значительное расхождение этих данных. В качестве примера в табл. 4 приведены значения средней мощности наиболее применяемых соединителей SMA и N по данным разных компаний. Для удобства работы с графиками сравнение выполнено для частоты 10 ГГц.

Значительное расхождение данных можно объяснить как различием методик измерения средней мощности, так и особенностями конструкции, примененных материалов и покрытий, а также технологии производства соединителей. В спецификациях на соединители компании приводят не допустимую среднюю мощность, а гарантированную номинальную среднюю мощность, которая может отличаться от допустимой мощности в разы.

ДОПУСТИМАЯ ПРОПУСКАЕМАЯ МОЩНОСТЬ КАК ПАРАМЕТР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

В отечественной технической литературе принято определение «максимальная мощность,

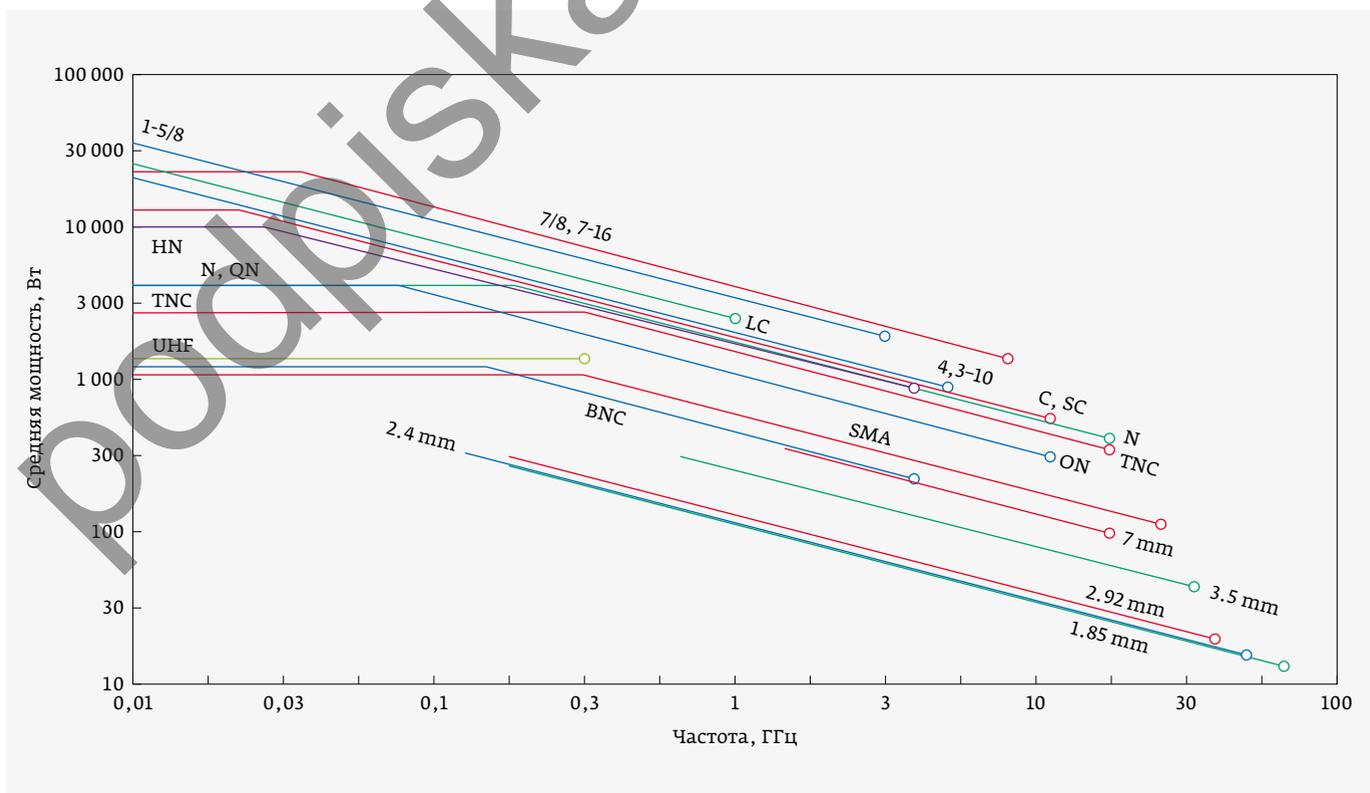


Рис. 9. Частотные зависимости пропускаемой мощности соединителей разных типов

пропускаемая соединителем». В действующем стандарте ГОСТ 20465-85 «Соединители радиочастотные коаксиальные. Общие технические условия» записано: «Максимальная мощность, пропускаемая соединителем, должна быть не менее мощности, пропускаемой кабелем. Конкретное значение пропускаемой мощности устанавливаются в технических условиях на соединитель». Обратимся к техническим условиям ВРО.364.049ТУ «Соединители радиочастотные коаксиальные» ПО «Октябрь», г. Каменск-Уральский – ведущего предприятия страны по разработке и серийному выпуску радиочастотных соединителей. В них сказано: «Максимальная мощность, пропускаемая соединителем, равна мощности пропускаемой соответствующим ему кабелем». Во-первых, в обоих документах сказано лишь о кабельных соединителях. А как быть с коаксиально-микроразъемными переходами, выводами энергии, адаптерами? В ГОСТ 20465-85 об этом нет указаний, а в технических условиях ВРО.364.049ТУ записано, что их мощность должна быть равна мощности отводящей части соединителя, то есть кабельного соединителя. Во-вторых, параметры выпускаемых в нашей стране радиочастотных кабелей, как правило, приведены только для частоты не более 10 ГГц.

Более подробно рассмотрено влияние температуры на пропускаемую мощность. За базовую температуру принята температура 40 °С. При температуре, превышающей 40 °С, величину пропускаемой мощности нужно рассчитывать по формуле:

$$P_t = \frac{t_{\text{доп}} - t}{t_{\text{доп}} - t_0} P_{t_0},$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимая температура для изоляции соединителя, °С;

t – температура окружающей среды, для которой производится перерасчет, °С;

t_0 – температура окружающей среды, равная 40 °С;

P_{t_0} – максимальная мощность, пропускаемая соединителем при температуре 40 °С, Вт.

Таким образом, на вопрос о допустимой средней пропускаемой мощности радиочастотного соединителя отечественный стандарт и технические условия не дают конкретного ответа.

* * *

Приведенные в данной статье значения средней допустимой пропускаемой мощности зарубежных радиочастотных соединителей не являются точными, и их следует использовать только в качестве оценочных данных. Основным документом для определения допустимой мощности радиочастотного соединителя является спецификация (data sheet). Если в спецификации этот параметр отсутствует, что встречается часто, то при выборе

соединителя необходима консультация с его изготовителем.

Для установления допустимой пропускаемой мощности отечественных радиочастотных соединителей было бы полезным разработать методику и провести измерение их максимальной пропускаемой мощности.

В заключение авторы выражают благодарность В. И. Кривошечко за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К. Б.** Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / Под ред. д.т.н. Борисова А. А. Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит, Санкт-Петербург. 2014, 426 с.
2. **Джуринский К. Б.** Радиочастотные соединители обратной полярности. Справочные материалы // Современная электроника. 2020. № 8. С. 2–6.
3. **Джуринский К. Б.** Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. ООО «Ваш Формат». М., 2019. 400 с.
4. Основы радиолокации. Импульсная и средняя мощность. <https://www.radartutorial.eu>.
5. **Gore W. L.** High Power Operation of Coaxial Assemblies, Space flight Applications. www.gore.com.
6. High Power Applications – Megaphase. <https://megaphase.com>.
7. Technology guide for power calculation Technology, <https://www.radiall.com>.
8. Guide to RF Coaxial Connectors and Cables. <https://www.arworld.us>.
9. Барометрическая формула. <http://www.math24.ru>.
10. Power Handling Capability of Maury Coaxial Connectors. Application note / 5D-004, www.maurymw.com.
11. Connector Power Handling vs Frequency – Absolute EMC. <https://absolute-emc.com>
12. **Michael J. Hannon, Pat Malloy.** Application Guide to RF Coaxial Connectors and Cables. <http://www.eastample.com>.
13. AH Systems. Connections in RF testing. www.ahsystems.com.
14. Technical Reference Manual – MegaPhase. www.MegaPhase.com.
15. Average Power Ratings for Coaxial Connectors. www.southwestmicrowave.com.
16. High Power Components Catalog – SV Microwave. / <https://www.svmicrowave.com>.
17. Theory, design, implementation and discussion of RF and high-frequency electronics.
18. RF connector max power vs frequency [OC]. <https://www.reddit.com/r/rfelectronics>.
19. Connector Average Power CW Rating vs Frequency. <http://www.antennas.ca>.

Микроконтроллер «Комдив-МК»

С. Аряшев, к. т. н.¹, С. Власов, д. т. н.², П. Зубковский³,
С. Сидоров, к. ф. - м. н.⁴

УДК 621.3 | ВАК 05.13.05

Один из ведущих российских разработчиков микропроцессоров ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН выпустил микросхему K5500BK018 – микроконтроллер «Комдив-МК». Он обладает пониженным энергопотреблением и предназначен в основном для использования в устройствах промышленного Интернета вещей. О структуре, характеристиках и возможных применениях нового микроконтроллера рассказывается в статье.

Микроконтроллер «Комдив-МК» разработан на основе отечественных IP-блоков и содержит 64-разрядное суперскалярное RISC-микропроцессорное ядро с архитектурой КОМДИВ64 (совместимо с MIPS64) и встроенные системные и периферийные контроллеры.

Список функций, выполняемых микроконтроллером «Комдив-МК», включает в себя прием информации с датчиков, в том числе аналоговых, прием информации по интерфейсам последовательной связи; нормализацию измеренных величин; ПИД-регулирование; циклическое самотестирование; управление актуаторами; информационное взаимодействие с верхним управляющим уровнем.

Обширный набор периферийных контроллеров позволяет строить на основе микроконтроллера «Комдив-МК» системы автоматизированного управления для широкого спектра применений и гибко настраивать их для различных задач. Основной сферой использования «Комдив-МК» является управление средствами автоматизации объектов ТЭК, промышленности, ЖКХ, транспорта и др. Кроме того, «Комдив-МК» может применяться для сбора и обработки данных в распределенных системах управления при автоматизации технологически-сложных объектов.

Основные технические характеристики микроконтроллера:

- частота процессорного ядра: до 300 МГц;
- диапазон рабочих температур: от –40 до 85 °С;
- напряжения питания: 1,0; 1,35/1,5; 3,0 В;
- максимальная потребляемая мощность: 0,5 Вт;
- корпус: BGA 256, металлополимерный, 17×17×1,6 мм.

Структурная схема «Комдив-МК» представлена на рис. 1.

СОСТАВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА «КОМДИВ-МК» Ядро

Основа микроконтроллера – 64-разрядное целочисленное ядро с архитектурой КОМДИВ64 и сопроцессор вещественной арифметики, соответствующий стандарту IEEE 754 с поддержкой вещественных чисел одинарной (32 разряда) и двойной (64 разряда) точности, а также пар вещественных чисел одинарной точности.

Высокая производительность достигается за счет 128-разрядной внутренней шины и 7-ступенчатого суперскалярного конвейера с предвыборкой инструкций и возможностью выполнения двух команд за такт, а также двухуровневой кеш-памяти: кеш-памяти первого уровня для команд и данных объемом по 16 Кбайт, общей кеш-памяти второго уровня объемом 512 Кбайт.

Виртуальная память поддержана буфером ассоциативной трансляции виртуальных адресов (JTLB) на 64 адреса (128 страниц).

Имеется быстрая встроенная статическая память на 512 Кбайт.

Встроенные контроллеры и другие блоки

Контроллер динамической памяти поддерживает до 2 Гбайт синхронной динамической памяти типа DDR3/DDR3L SDRAM, при этом логическая модель контроллера памяти одинакова для DDR3 с напряжением питания 1,5 В и для DDR3L с напряжением питания 1,35 В. Разрядность шины данных составляет 16 бит.

Блок таймеров включает восемь однотипных независимых 64-разрядных таймеров-счетчиков и 64-разрядный сторожевой таймер. Работа всех таймеров возможна также в 32-разрядном режиме. Каждый таймер-счетчик и сторожевой таймер имеют программируемый предделитель частоты и работают на одной из двух частот – опорной (частота системной шины) и внешней. Отмеряемые временные интервалы – от 1 такта. Типовое время срабатывания сторожевого таймера – 10 с. Любой таймер-счетчик также может быть сторожевым. Таймеры поддерживают функции регистрации событий, режимы ШИМ и меандр.

¹ ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, зам. директора, aserg@cs.niisi.ras.ru.

² ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, директор, vlasov@niisi.ru.

³ ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, зав. отделом, zubkovsky@niisi.ras.ru.

⁴ ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, зав. отделом, sidorov@niisi.msk.ru.

Контроллер прерываний на 48 входов перераспределяет все прерывания на шесть линий запросов на прерывание процессору. Контроллер поддерживает арбитрацию одновременных запросов, по фиксированным приоритетам; возвращает запрограммированный вектор прерывания в соответствии с приоритетом.

Блок регистров системного контроллера предназначен для управления поведением системы в целом (частоты, режимы и пр.).

Два **контроллера Ethernet** поддерживают режимы 10/100 Мбит/с, полу-/полный дуплекс, внутреннюю и внешнюю петли для диагностических целей, механизмы борьбы с блокировками канала Ethernet, управление потоком в соответствии со стандартом IEEE 802.3-2005, набор гибких схем адресной фильтрации входящих пакетов. Для связи с РНУ используется интерфейс MII (RMII).

Контроллер **EtherCAT** содержит два порта, подключенных к тем же выводам, что и Ethernet. Блок каждого из двух портов EtherCAT производит прием и передачу данных от внешней микросхемы приемопередатчика Ethernet 100 Мбит/с с использованием интерфейса MII, управляет функционированием микросхемы приемопередатчика Ethernet по интерфейсу управления MI (management interface).

Пять **контроллеров последовательных интерфейсов RS-232C** имеют типовой программный интерфейс, передающий и приемный буферы FIFO глубиной по 255 байт каждый.

Три **контроллера шины I²C** выполняют передачу данных на частотах 100 кГц, 400 кГц и 1 МГц в режимах ведущего (master) и ведомого (target), с поддержкой основной (7 бит) и расширенной (10 бит) адресаций. При наличии нескольких ведущих на шине выполняется штатная арбитрация.

Контроллер интерфейса QSPI (Quad Serial Peripheral Interface) используется для управления загрузочным ПЗУ. По включению питания осуществляет протокол загрузки, совместимый с обычным SPI.

Контроллер реализует режим ведущего. Данное устройство включает DMA-контроллер для пакетных передач из/в памяти. Доступен отображенный в память канал чтения из QSPI ведомого с аппаратной

реализацией протокола QSPI. Адресуется одно устройство. В адресное пространство процессора отражено прямо адресуемое окно размером в 1 Мбайт.

Три **контроллера интерфейса SPI** функционируют в режиме ведущего с выбором до четырех устройств (SPI0-4 CS, SPI1-4 CS, SPI2-1 CS). Устройства включают DMA-контроллер для пакетных передач из/в памяти. В адресное пространство процессора отражено прямо адресуемое окно размером в 16 Мбайт от каждого контроллера. Программируемая скорость – до 12 Мбит/с.

Контроллер прямого доступа в память (IDMA) 12-канальный. Поддерживает передачи «память – память», «память – ЦАП» и «АЦП – память», «память – UART» в обе стороны. Задавать передачу можно как с использованием цепочки дескрипторов, так и в регистрах.

Два **контроллера интерфейса CAN 2.0A/B** с программируемой скоростью передачи информации до 1 Мбит/с поддерживают стандартный/расширенный

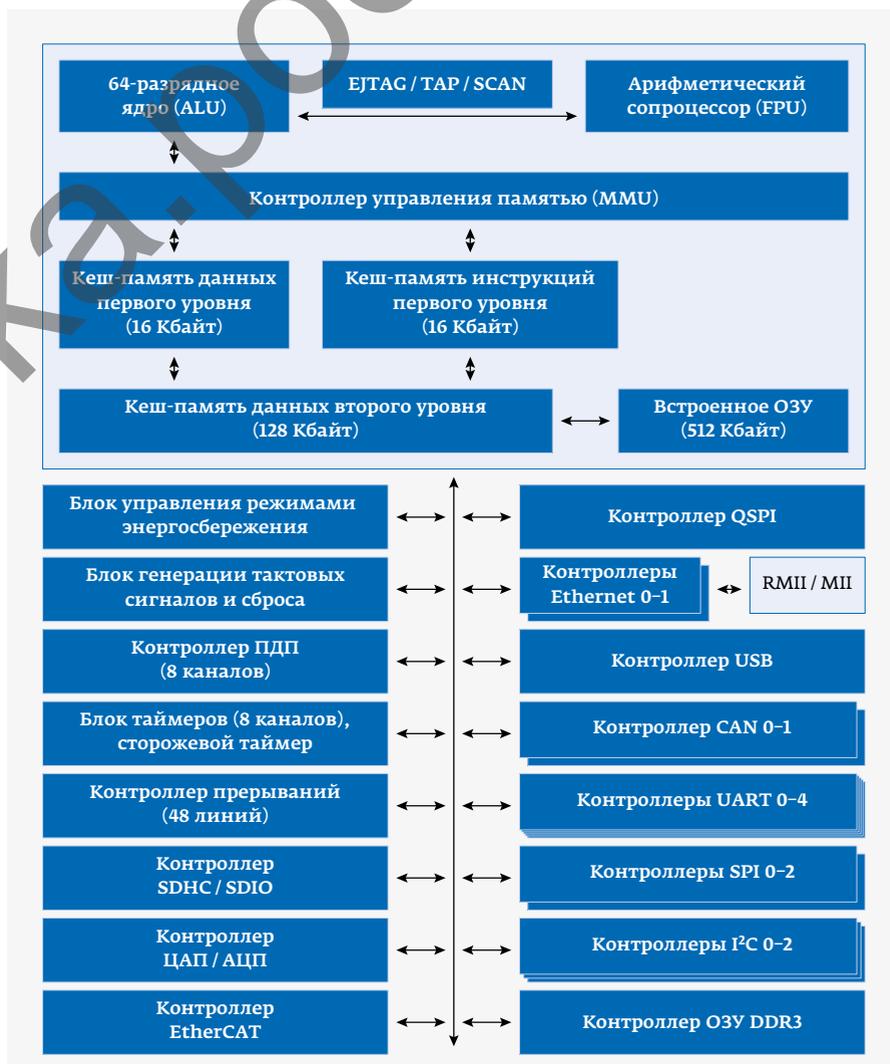


Рис. 1. Структурная схема микроконтроллера «Комдив-МК»

тип сообщений; удаленный запрос данных; 32 независимых буфера, работающих либо на прием, либо на передачу; аппаратную фильтрацию принимаемых сообщений для каждого приемного буфера отдельно; режим автоответа при удаленном запросе; режим самотестирования.

Контроллер интерфейса USB для встроенных применений представляет собой Host-контроллер интерфейсов USB 2.0 и USB 1.1. Для связи с приемопередатчиками USB используется интерфейс UPLP.

Блок АЦП предназначен для измерений и контроля напряжений внешних и внутренних датчиков. Внешних каналов – 8, внутренних – 3, разрядность – 12 бит. Скорость выборок – не менее 50 в секунду. Поддерживаются следующие режимы:

- режимы преобразования: однократный режим, режим сканирования, прерывистый режим;
- унитарный и дифференциальный режимы измерения с усреднением или без усреднения измеряемых параметров;
- режим автокалибровки для автоматической подстройки шкалы измерений;
- программный запуск измерений или автоматический запуск по событиям от таймеров или внешнего сигнала;
- режим экономичного энергопотребления с отключением блока АЦП.

Блок АЦП включает индивидуальные цифровые компараторы на каждый канал измерений и внутренний буфер измерений с возможностью DMA-передачи измерений «контроллер – память».

Блок также позволяет измерять внутренние параметры микросхемы, такие как температура и напряжения.

Блок ЦАП предназначен для выставления заданного уровня напряжения относительного опорного на выводах микросхемы. Контроллер ЦАП реализует четыре аналоговых канала. Разрядность канала составляет 14 бит, частота выставления кодов – до 500 кГц. Поддерживаются два режима работы ЦАП: статический, с заданием значений в регистре, и DMA – требуемый уровень напряжения задается списком значений в памяти.

Host-контроллер SDHC / SDIO пригоден для построения высокоскоростных сетевых средств защиты с функциями криптографической защиты и совместим со спецификациями SD Host Controller Standard Specification Version 4.2, SD Physical Layer Simplified Specification Version 3.01, MMC Specification Version 4.5. Поддерживает 1- и 4-разрядные интерфейсы SDIO, сигналы детектирования карты и защиты от записи, прерывания и режимы передачи ADMA2. Контроллер позволяет вычислять CRC для данных и команд, программировать частоту тактового сигнала для SDIO. Внутренняя буферная память размером 2 Кбайт определяет максимальный размер блока данных. Есть возможность детектирования таймаута при передачах.

Контроллер часов реального времени RTC содержит столетний (2000–2099 гг.) Григорианский календарь (год, месяц, день и день недели) с учетом високосных годов. Время с точностью до секунды представлено в 24-часовом формате (часы, минуты, секунды). Минимальное программно-видимое разрешение часов составляет 500 мс. Имеется встроенный однократный/регулярный будильник. Возможна цифровая подстройка точности хода часов.

Квадратурный декодер преобразует цифровой сигнал с датчика положения вала, позволяя вычислять скорость, направление вращения, а также текущее положение вала. Содержит антидребезговый фильтр.

Блок разовых команд GPIO содержит 48 управляющих линий ввода-вывода, разделенных на шесть портов. Все восемь линий каждого порта могут быть использованы на выход для передачи управляющих сигналов и выставлять прерывание по изменению уровня входного сигнала. Предусмотрены фильтрация дребезга на входе порта, защелкивание временной метки события на входе порта.

Контроллер внутрисхемной отладки EJTAG обеспечивает отладочный режим, загрузку программного обеспечения (ПО) по линии JTAG, возможность остановки ядра по команде из отладчика, возможность чтения памяти DDR и архитектурно-видимых регистров в режиме отладки, возможность выполнения пошаговой отладки ПО в исходных кодах (на языках C, C++) при помощи отладчика (требуется поддержка со стороны ПО отладчика).

Блок управления режимами энергосбережения позволяет программно отключать тактовую частоту неиспользуемых блоков микроконтроллера.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программирование микроконтроллера осуществляется на языке C для работы в среде операционной системы реального времени ОС РВ «Багет 2.6» разработки ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН. Инструментальное кросс-средство программирования Си-компилятор СКРВ «Багет 3.3» функционирует на инструментальной ЭВМ в среде ОС Linux. Для отладки программ применяется отладчик ОРВ 2.6.

Для микроконтроллера K5500BK018 разработаны библиотеки программ, работающие в среде ОС РВ «Багет 2.6» и обеспечивающие работу со специализированными протоколами: Modbus RTU, Modbus TCP, МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-104, OPC UA.

Возможна также разработка программ для работы в среде ОС Linux, функционирующей на микроконтроллере.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

В качестве отладочной платы для разработки программного обеспечения и освоения возможностей микроконтроллера применяется программируемый логический контроллер ПЛК «Багет-ПЛК1-01» на базе K5500BK018. ●

Анализ методов расчета эксплуатационной интенсивности отказов БИС

А. Строгонов, д. т. н.¹, М. Белых², Д. Пермяков³

УДК 621.3.049.774 | ВАК 05.27.01

Прогнозирование надежности – важный инструмент поиска оптимального решения для разрабатываемой системы и оценки характеристик надежности готового изделия в процессе эксплуатации. Неточная оценка отказоустойчивости радиоэлектронного оборудования может привести к излишне консервативным разработкам и / или дополнительным расходам в течение жизненного цикла изделия. Для прогнозирования интенсивности отказов радиоэлектронных систем и компонентов применяют различные справочники, среди которых наибольшей популярностью в России пользуются справочник Министерства обороны США MIL-HDBK-217F и отечественный справочник «Надежность ЭРИ». В статье приведены сведения об описанных в этих справочниках моделях и методах оценки интенсивности отказов БИС, рассмотрены примеры расчета эксплуатационной интенсивности отказов для некоторых ПЛИС.

Зависимость интенсивности отказов от времени работы ИС имеет вид кривой, которая характеризуется тремя периодами: периодом приработки, в котором интенсивность отказов вначале велика, а затем быстро падает; периодом нормальной работы, то есть основной работы, в котором значение интенсивности отказов, как правило, постоянно, и периодом старения (износа), в котором интенсивность отказов начинает вначале медленно, а затем быстрее возрастать (рис. 1). Интенсивность отказов λ характеризуется размерностью 1/ч. Учитывая постоянное значение λ для периода нормальной работы изделия, величина средней наработки на отказ теоретически определяется как $\bar{T}=1/\lambda$. В зарубежной литературе вместо \bar{T} часто используют параметр $MTTF$ – среднее время наработки на отказ.

Под «старением» в статистической теории надежности понимают явление постепенной утраты одного или нескольких свойств изделия в расчетных

условиях эксплуатации. Существует и другое определение термина «старение», например, когда под старением подразумевают ухудшение показателей надежности с течением времени, то есть старение может означать возрастание с течением времени интенсивности отказов.

Старение характеризуется скоростью потери работоспособности, определяемой как внутренними индивидуальными особенностями конструкции ИС, так и внешними условиями эксплуатации. В отличие от старения процесс постепенной утраты работоспособности в результате неблагоприятного сочетания внешних условий называется износом. Если старение характеризуется усредненной скоростью потери работоспособности, то износ может быть определен как старение со скоростью, превышающей номинальную.

Из литературных источников известно, что участок старения на ваннообразной кривой интенсивности отказов получают по результатам ускоренных испытаний ИС на долговечность. Для ИС, которые эксплуатируются в радиоэлектронной аппаратуре в условиях и режимах, оговоренных в ТУ, период старения не наблюдается.

Для предсказания срока службы электронных компонентов до 1980-х годов использовалась единственная модель с постоянной интенсивностью отказов (CFR). Модель с постоянной интенсивностью отказов легла в основу военного справочника по предсказанию надежности электронного оборудования, известного как Military-Handbook-217

¹ Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники, тел. +7 910 247-14-70, andreistrogonov@mail.ru.

² Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники, тел. +7 920 524-58-90, belykh.maks@yandex.ru.

³ Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники, тел. +7 915 569-70-25, Dima.P.S@yandex.ru.

или MIL-HDBK-217, который стал де-факто отраслевым стандартом.

В 1980-х и в начале 1990-х годов, с появлением БИС, стало накапливаться все больше данных, свидетельствующих о том, что CFR-модель больше не применима. В БИС, спроектированных без учета надежности, могут преобладать ранние отказы и отказы в период старения на ваннообразной кривой интенсивности отказов. Эти отказы уже нельзя описать CFR-моделью. В 1991 году две исследовательские группы, исследовательский институт IIT Research Institute/Honeywell SSED и команда университета Westinghouse University of Maryland, рекомендовали на основе своих исследований и выводов не применять CFR-модель к дальнейшим обновлениям справочника MIL-HDBK-217 без предварительного исследования. После 1994 года Министерство обороны США стало поощрять использование промышленных стандартов на основе серии ISO 9000. Последнее обновление справочника MIL-HDBK-217 было в 1995 году. В дальнейшем были предприняты попытки обновления различных справочников по предсказанию надежности, основанных на MIL-HDBK-217, таких как Bellcore/Telcordia (2006), RDF 2000 (2000), China 299B (1998), PRISM (2000) и др.

Последняя версия справочника MIL-HDBK-217F (Notice 2, 1995 год) охватывает широкий спектр основных категорий электронных компонентов, используемых в современных военных системах, от ИС и дискретных полупроводников до пассивных компонентов, таких как резисторы и конденсаторы. Для каждой из этих областей в справочнике представлено простое уравнение для расчета интенсивности отказов.

Для расчета количественных показателей надежности ИС широко используют калькулятор MTBF Calculator компании ALD (Израиль), который поддерживает 26 наиболее известных справочников по предсказанию надежности электронного оборудования, в том числе MIL-HDBK-217F-2 Part count; MIL-HDBK-217F-2 Part stress; RIAC HDBK-217Plus; ALCATEL; BELLCORE выпуск 5; BELLCORE выпуск 6; BRITISH TELECOM HRD4; BRITISH TELECOM HRD5; CNET RDF93 02/95; FIDES Guide 2004; FIDES 2009; GJB/Z 299B Part count и GJB/Z 299B Part stress; HRD5 TELECOMM; IEC 62380; ITALTEL IRPH93; NPRD-95; Telcordia 1, 2; Siemens SN 29500-1; Siemens SN 29500-2005-1 (Siemens Norm), UTE C 80-810 (RDF2000) и др. MTBF Calculator содержит базу достоверных сведений по конструктивно-технологическим данным БИС различных зарубежных производителей.

Для расчета количественных показателей надежности ИС широко используют калькулятор MTBF Calculator компании ALD (Израиль), который поддерживает 26 наиболее известных справочников по предсказанию надежности электронного оборудования, в том числе MIL-HDBK-217F-2 Part count; MIL-HDBK-217F-2 Part stress; RIAC HDBK-217Plus; ALCATEL; BELLCORE выпуск 5; BELLCORE выпуск 6; BRITISH TELECOM HRD4; BRITISH TELECOM HRD5; CNET RDF93 02/95; FIDES Guide 2004; FIDES 2009; GJB/Z 299B Part count и GJB/Z 299B Part stress; HRD5 TELECOMM; IEC 62380; ITALTEL IRPH93; NPRD-95; Telcordia 1, 2; Siemens SN 29500-1; Siemens SN 29500-2005-1 (Siemens Norm), UTE C 80-810 (RDF2000) и др. MTBF Calculator содержит базу достоверных сведений по конструктивно-технологическим данным БИС различных зарубежных производителей.

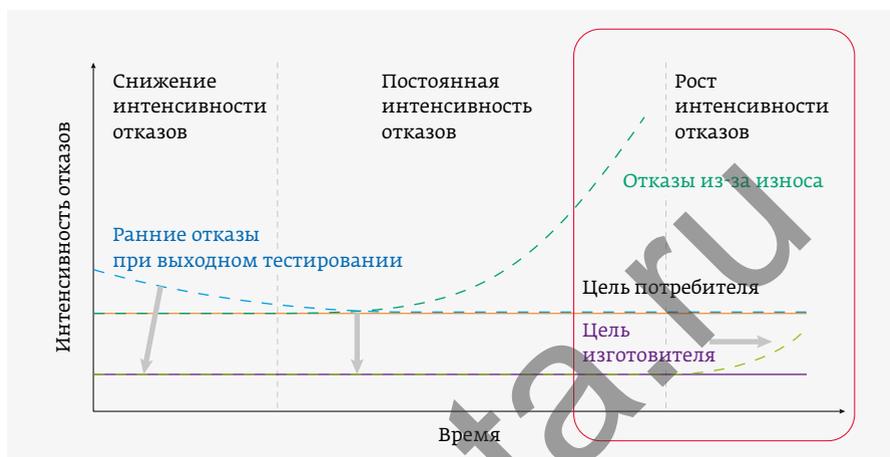


Рис. 1. Управление интенсивностью отказов в течение срока службы изделия

В MIL-HDBK-217 используются две модели для оценки λ : модель экспресс-оценки (parts count) и модель нагрузок (parts stress). Метод прогнозирования надежности parts count используется на ранних этапах проектирования электронного оборудования, когда недостаточно данных, но известно количество составных частей. Он дает более консервативные результаты и предполагает типичные условия эксплуатации системы.

Модель parts stress основана на влиянии механических, электрических и внешних нагрузок и рабочих циклов, таких как температура, влажность, вибрация и др., на интенсивность отказов компонентов. Этот метод используется, когда большая часть проекта завершена и доступна подробная информация о нагрузках на компоненты. Этот подход применим и на более поздних этапах проектирования, когда доступно больше информации о системе, поэтому результат более точен, чем в методе parts count.

В основе прогнозирования надежности по MIL-HDBK-217F лежат две основные концепции:

- модель надежности с постоянной интенсивностью отказов (интенсивность отказов системы является суммой интенсивностей отказов входящих в нее

$$\text{компонентов: } \lambda = \sum_{i=1}^m (\lambda_{B_i});$$

- базовая интенсивность отказов компонента, модифицированная несколькими π -факторами (поправочными коэффициентами).

Например, интенсивность отказов может быть вычислена на основе следующей модели parts count:

$$\lambda = \lambda_B \pi_Q \pi_L, \tag{1}$$

где λ_B – базовая интенсивность отказов, полученная по результатам отбраковочных испытаний компонентов; π_Q, π_L – поправочные коэффициенты, π_Q – коэффициент,

зависящий от подготовки и качества процесса производства; π_L – коэффициент, зависящий от уровня отработки технологического процесса (учитывается, если ИС выпускается менее двух лет).

В основу всех моделей для оценки интенсивности отказов монолитных БИС положено понятие аддитивной модели: $\lambda = \lambda_T + \lambda_E$, где λ – общая интенсивность отказов для монолитных схем; λ_T – составляющая интенсивности отказов, обусловленная деградацией параметров во времени (определяется механизмами, которые ускоряются температурой и электрической нагрузкой). λ_T связывают с явлениями, которые подчиняются зависимости Аррениуса. λ_E – составляющая интенсивности отказов, обусловленная механическими нагрузками (воздействием среды), непосредственными или косвенными, например, нагрузками, вызванными тепловым расширением. Качество БИС оказывает непосредственное влияние на интенсивность отказов и учитывается в модели в виде коэффициента π_Q . Для учета воздействия условий эксплуатации вводится коэффициент π_E .

В справочнике выделяют следующие категории ИС: монолитные биполярные и МОП цифровые ИС малого и среднего уровня интеграции (менее 100 вентиляей); монолитные биполярные и МОП аналоговые ИС; монолитные биполярные и МОП цифровые ИС высокого уровня интеграции (содержащие 100 и более вентиляей); монолитные с МОП-структурой и биполярные запоминающие устройства.

Например, интенсивность отказов программируемых логических матриц (ПЛМ, PLA), программируемой матричной логики (ПМЛ, PAL), микропроцессоров оценивается моделью нагрузок:

$$\lambda = \pi_Q [C_1 \pi_T + C_2 \pi_E] \pi_L \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где π_Q – коэффициент, зависящий от подготовки и качества процесса производства; C_1 и C_2 – коэффициенты сложности элемента (конструкционные факторы), связанные с кристаллом и корпусом ИС; π_T – коэффициент, зависящий от температуры кристалла и технологии; π_E – коэффициент жесткости условий эксплуатации (в справочнике MIL-HDBK-217F различается 14 факторов окружающей среды); π_L – коэффициент, зависящий от уровня отработки технологического процесса (уровень качества).

Рассчитывать характеристики надежности зарубежных БИС можно и по АСРН2004 (отечественный справочник «Надежность ЭРИ», расчет по импортным группам ведется по MIL-HDBK-217F). АСРН2004 – автоматизированная система расчета надежности элементной базы отечественного и иностранного производства ФГУП «22 ЦНИИИ Минобороны России». В АСРН2004 доступен русифицированный справочник

зарубежного стандарта. Расчет ведется с использованием моделей нагрузок.

Эксплуатационная интенсивность отказов отечественных компонент (по группе «Россия») в справочнике «Надежность ЭРИ» оценивается моделью:

$$\lambda_{Э} = \lambda_6 \cdot K_Э \cdot K_{пр} \cdot \prod_{i=1}^n K_i \cdot 10^7, \quad (3)$$

где λ_6 – базовая интенсивность отказов; n – число учитываемых факторов; K_i – поправочные коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов; $K_Э$ – коэффициент эксплуатации (степень жесткости условий эксплуатации); $K_{пр}$ – коэффициент приемки.

Модель (3), используемая в отечественном справочнике «Надежность ЭРИ», схожа с моделью оценки компоненты, используемой не только в MIL-HDBK-217F, но и в других зарубежных справочниках по прогнозированию надежности электронного оборудования, например, Telcordia SR-332 (Bell Communication Research/Telcordia Technologies Inc.).

В справочнике «Надежность ЭРИ» 2004/2006 используется обобщенная группа «Микросхемы интегральные полупроводниковые цифровые (логические, арифметические, микропроцессоры и микропроцессорные комплекты ПЛМ, регистры сдвига, БМК и др.)».

Рассчитаем, например, интенсивность отказов цифровой БИС, изготовленной по КМОП-технологии, с количеством системных вентиляей 31 тыс. (10 тыс. логических вентиляей) на стадии проектирования (условное обозначение ПЛИС1, аналог зарубежной FPGA EPF10K10AQC208). Предположим, что БИС можно отнести к группе ЭРИ «Цифровые КМОП-технологии». Сложность элементов по справочнику задается из диапазона 10 000–50 000, тип корпуса – пластмассовый, напряжение питания до 10 В, вид приемки 5 (ВП). Пусть в РЭА используется одна БИС. Температура окружающей среды $T_c = 25^\circ\text{C}$.

Для нашего случая по справочнику «Надежность ЭРИ 2004»:

$$\lambda_{Э} = \lambda_6 \cdot K_Э \cdot K_{пр} \cdot K_{СТ} \cdot K_{корп} \cdot K_V. \quad (4)$$

Для заданной сложности БИС в АСРН выбирается базовая интенсивность отказов для усредненных режимов применения $\lambda_6 = 0,197 \cdot 10^{-7}$ (1/ч) (электрическая нагрузка, равная 0,4 от номинальной; температура окружающей среды 30°C).

Значения коэффициента $K_{СТ}$ вычисляются по формуле $K_{СТ} = Ae^{B(T+273)}$, где A и B – постоянные коэффициенты модели ($A = 99,96 \cdot 10^{-4}$, $B = 20,79 \cdot 10^{-3}$ для диапазона сложности 10 000–50 000 и температуры 25°C).

Значение коэффициента $K_{корп} = 3,0$ выбирается в зависимости от типа корпуса. Предположим, БИС выпускается

Осциллографы реального времени АКИП-4135

АКИП - современные
средства измерений



- 4 аналоговых канала + 16 цифровых (опция)
- Полоса пропускания 500 МГц / 1 ГГц / 2 ГГц
- Частота дискретизации 5 ГГц (10 ГГц в режиме ESR) на канал
- Память 500 МБ
- Низкий уровень собственных шумов обеспечивающий установку коэффициента отклонения в диапазоне от 500 мкВ/дел до 10 В/дел
- Декодирование сигналов: стандартно - I²C, SPI, UART/RS232, CAN, LIN, опционально - CAN FD, FlexRay, I²S, MIL-STD-1553B, SENT, Manchester
- Опция генератора сигналов произвольной формы до 25 МГц
- Встроенный веб-сервер с поддержкой удаленного управления через порт LAN

PRIST.RU

Наименование	Кол.в	По...	Дет...	$\lambda_0 \cdot 10^7, 1/\text{ч}$	$\lambda_0 \cdot 10^7, 1/\text{ч}$	$\lambda_0 \cdot 10^7, 1/\text{ч}$	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
Аппаратура	1			-	2,898	2,898							
ПЛИС	1			0,197	2,898	2,898	Кст = 4,50	Ккорп = 3,00	Кв = 1,00	Ка = 1,00	Кпр = 1,00		

Рис. 2. Результат расчета характеристик надежности в АСРН2004 (по группам «Россия» и «цифровые КМОП-технологии»)

в пластмассовом корпусе. Значение коэффициента $K_v=1,0$ выбирается для напряжения источника питания до 10 В и КМОП-технологии.

Для группы аппаратуры $1.1 K_3=1,0$. Для заданных значений эксплуатационная интенсивность отказов составляет $\lambda_3 = 290 \cdot 10^{-9}$. Вычисленные значения коэффициентов по справочнику АСРН составят: $K_{ст}=4,9$, $K_{корп}=3,0$, $K_v=1,0$, $K_3=1,0$, $K_{пр}=1,0$ (рис. 2). Если интенсивность отказов перевести в так называемые ФИТ = $\lambda \cdot 10^9$ (1 ФИТ (FIT – Failure in Time) = 1 отказ на 10^9 приборо-часов или 1 отказ на 10^9 ИС в час), то получим 290 ФИТ. В зарубежной технической литературе, как правило, используют масштабный множитель 10^9 и единицы измерения интенсивности отказов в ФИТах, для того чтобы показать сверхмалые интенсивности отказов. В справочнике «Надежность ЭРИ» 2004/2006 используют масштабный множитель 10^6 , а в программе в АСРН2004 множитель при расчете интенсивности может задать пользователь на свое усмотрение. По современным меркам это достаточно большая величина интенсивности отказов оцениваемой БИС на стадии проектирования.

Оценим интенсивность отказов ПЛИС EPF10K10AQC208 с использованием модели parts count и справочника MTBF Calculator для условий эксплуатации G_b и температуры 25°C. MTBF Calculator автоматически относит ПЛИС EPF10K10AQC208 к типу ПЛМ (ПМЛ), указывает на КМОП-технологии изготовления. Выбирается диапазон вентилях от 256К до 1М (>256К to 1М), который соответствует диапазону 5001 to 20000 вентилях согласно справочнику MIL-HDBK-217F (страница А-2, раздел 5.1 Floating Gate Programmable Logic Array, технология MOS, корпус DIP 40 pin).

Базовая интенсивность отказов согласно рис. 3 составляет $\lambda_b = 0,0095 \cdot 10^{-6} 1/\text{ч}$ или 9,5 ФИТ.

Коэффициент, зависящий от уровня обработки технологического процесса изготовления ИС, может быть определен по следующей модели:

$$\pi_1 = 0,01e^{(5,35-0,35Y)}$$

где Y – продолжительность промышленного выпуска ИС данного типа в годах. Расчетные значения коэффициентов отработанности технологического процесса

Generic Failure Rate λ_g (Failures/10⁶ Hours) for Micro
(Defaults: π_T Based on Ea Shown, Solder or Weld Seal DIPs/PAGAs (Nc

Section #	Part Type	Environ. → T _J (°C) →	GB	GF	GM	NS
			50	60	65	60
5.1	Bipolar Technology					
	Gate/Logic Arrays, Digital (Ea = .4)					
	1 - 100 Gates	(16 Pin DIP)	.0036	.012	.024	.024
	101 - 1000 Gates	(24 Pin DIP)	.0060	.020	.038	.037
	1001 to 3000 Gates	(40 Pin DIP)	.011	.035	.066	.065
	3001 to 10,000 Gates	(128 Pin PGA)	.033	.12	.22	.22
5.1	Linear Microcircuits (Ea = .65)					
	1 - 100 Transistors	(14 Pin DIP)	.0095	.024	.039	.034
	101 - 300 Transistors	(18 Pin DIP)	.017	.041	.065	.054
	301 - 1000 Transistors	(24 Pin DIP)	.033	.074	.11	.092
	1001 - 10,000 Transistors	(40 Pin DIP)	.050	.12	.18	.15
	Programmable Logic Arrays (Ea = 4)					
5.1	MOS Technology					
	Gate/Logic Arrays, Digital (Ea = .35)					
	1 - 100 Gates	(16 Pin DIP)	.0057	.015	.027	.027
	101 - 1000 Gates	(24 Pin DIP)	.010	.026	.045	.043
	1001 to 3000 Gates	(40 Pin DIP)	.019	.047	.080	.077
	3001 to 10,000 Gates	(128 Pin PGA)	.049	.14	.25	.24
5.1	Linear Microcircuits (Ea = .65)					
	1 - 100 Transistors	(14 Pin DIP)	.0095	.024	.039	.034
	101 - 300 Transistors	(18 Pin DIP)	.017	.041	.065	.054
	301 - 1000 Transistors	(24 Pin DIP)	.033	.074	.11	.092
	1001 - 10,000 Transistors	(40 Pin DIP)	.05	.12	.18	.15
	5.1	Floating Gate Programmable Logic Array, MOS (Ea = .35)				
Up to 500 Gates		(24 Pin DIP)	.0046	.018	.035	.035
501 - 2000 Gates		(28 Pin DIP)	.0056	.021	.042	.042
2001 - 5000 Gates		(28 Pin DIP)	.0061	.022	.043	.042
5001 to 20000 Gates		(40 Pin DIP)	.0095	.033	.064	.063

Рис. 3. Фрагмент таблицы базовой интенсивности отказов из справочника MIL-HDBK-217F (для оценки интенсивности отказов выбирается раздел Floating Gate Programmable Logic Array, технология MOS)



Акционерное общество

ЭРКОН

Научно-производственное объединение

ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ
И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю

НОВИНКИ

Аттенюаторы (поглотители) ПР1-25 (500 Вт и 150 Вт от 3 до 40 дБ)
Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 40 ГГц)
Мощные резисторы Р1-170 (от 10 до 1000 Вт)



603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)
8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)

E-mail: info@erkon-nn.ru
www.erkon-nn.ru

Таблица 1. Коэффициенты отработанности технологического процесса изготовления ИС

Годы производства, Y	π_L
≤0,1	2,0
0,5	1,8
1,0	1,5
1,5	1,2
≥2,0	1,0

изготовления ИС π_L приведены в табл. 1, в табл. 2 показаны коэффициенты уровня качества π_Q .

Предположим, что ПЛИС EPF10K10AQC208 с уровнем качества В выпускаются более двух лет (ПЛИС соответствуют классу В стандарта MIL-M-38510). Таким образом, $\pi_L = 1$ (табл. 1), $\pi_Q = 1$ (табл. 2). Оценка интенсивности отказов для ПЛИС EPF10K10AQC208 с использованием модели parts count составит в этом случае 9,5 ФИТ (рис. 4). Интенсивность отказов с использованием статистики χ^2 с 60%-ным уровнем значимости по результатам ускоренных испытаний, проведенных компанией Altera для FLEX10KA (2014 год), с технологическими проектными нормами 300 / 350 нм составляла 54 ФИТ.

Следует отметить, что основная погрешность при расчете интенсивности отказов БИС на основе справочника MIL-HDBK-217F объясняется устаревшими сведениями о базовой интенсивности отказов, не соответствующими характеристикам надежности современных БИС, изготавливаемых по технологическим проектным нормам порядка десятков нанометров и менее.

Таблица 2. Коэффициенты уровня качества

Уровень качества	Класс отбраковки	π_Q
S	Приобретенные в полном соответствии с классом S стандарта MIL-M-38510 MIL-I-38535 и приложение В (класс U)	0,25
B	Приобретенные в полном соответствии с классом В стандарта MIL-M-38510 MIL-I-38535 и приложение В (класс Q)	1,0
B-1	Соответствуют требованиям раздела 1.2.1 MIL-STD-883	2,0
	Для коммерческих ИС и неизвестных программ отбраковочных испытаний	10

Усилия по обновлению и возрождению MIL-HDBK-217F начались в 2004 году. Планировалось к концу 2009 года разработать версию G. В 2006 году Центр анализа информации о надежности (RIAC) представил новую методологию, основанную на программном инструменте PRISM, и новый справочник HDBK-217Plus. Эта методология известна как RIAC217Plus, которая включает модели библиотек прогнозирования интенсивности отказов компонентов и модели уровня системы. Оценка интенсивности отказов системы производится путем использования моделей интенсивности отказов каждого компонента в отдельности. Затем эти данные по отдельным

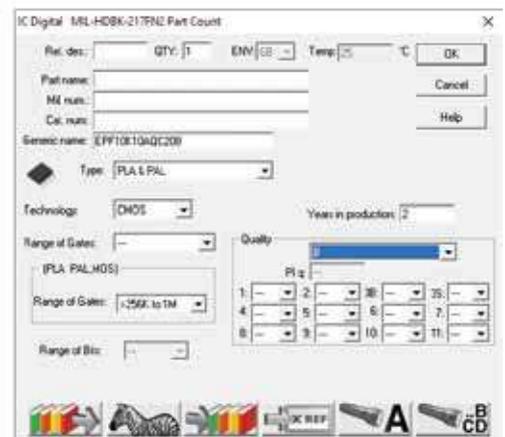
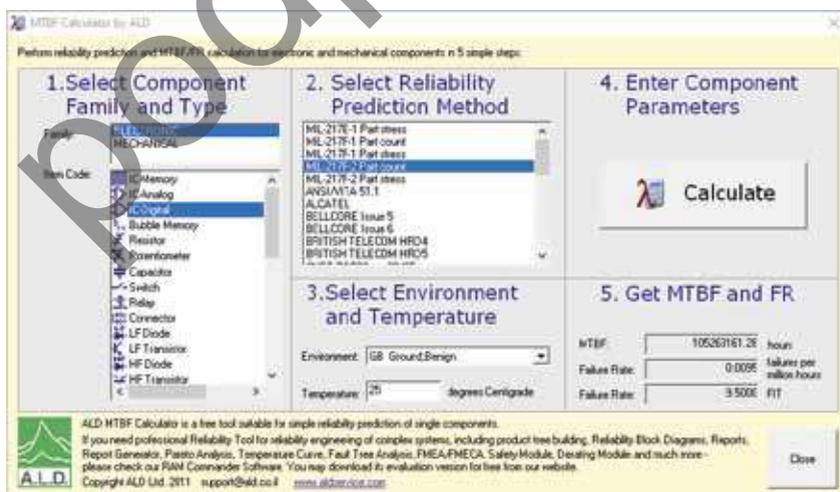


Рис. 4. Оценка интенсивности отказов для ПЛИС EPF10K10AQC208 в MTBF Calculator с использованием модели parts count

компонентам суммируются, чтобы оценить интенсивность отказов системы в целом. Метод 217Plus реализован, например, в системе анализа надежности RAM Commander компании ALD.

В 2015 году вышла последняя версия справочника 217Plus, которая доступна через сайт Quanterion (<https://www.quanterion.com>). Она содержит новые модели интенсивности отказов, охватывающие компоненты фотоники, и обновления двенадцати оригинальных моделей интенсивности отказов компонентов 217Plus на основе новых сведений о надежности. Однако версия HDBK-217Plus: 2015 (Notice 1) и табличный калькулятор уже не являются свободно распространяемыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Obsolescence of the MIL-HDBK-217: A critical review. <https://www.researchgate.net/publication/318893417>.
2. MIL-HDBK-217F, Notice 2, December 1991. Military handbook. Reliability prediction of electronic equipment.
3. **White M., Bernstein J. B.** Microelectronics Reliability: Physics-of-Failure Based Modeling and Lifetime Evaluation. DOI:10.13140/RG.2.1.2490.1281. Report number: 08-52/08 Affiliation: NASA, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, University of Maryland // www.researchgate.net/publication/277598241
4. **Жаднов В. В.** Сравнительный анализ методов оценки надежности полупроводниковых интегральных микросхем // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2013. № 16. С. 132–137.
5. **Горлов М. И., Королев С. Ю., Кулаков А. В., Строгонов А. В.** Расчет надежности интегральных схем по конструктивно-технологическим данным. Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1996. 80 с.
6. **Строгонов А. В.** Характеристики надежности современных ПЛИС // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 4. С. 52–58.
7. **Строгонов А. В.** Оценка долговечности БИС по результатам ускоренных испытаний // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3. С. 90–96.
8. **Строгонов А. В., Цыбин С. А., Городков П. С.** Расчет количественных показателей надежности цифровых БИС с использованием справочника MIL-HDBK-217F и программы MTBF Calculator фирмы ALD // Компоненты и технологии. 2015. № 1. С. 104–110.
9. **Строгонов А. В.** Расчет эксплуатационной интенсивности отказов у потребителя с помощью справочников MIL-HDBK-217F и ASPH2004 на примере ПЛИС // Компоненты и технологии. 2018. № 9. С. 132–135.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 920 руб.

ПЛИС И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ. ПРОГРАММНЫЕ ОШИБКИ И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Под ред. Ф. Кастеншмидт, П. Реха

При поддержке АО «Конструкторско-технологический центр «ЭЛЕКТРОНИКА»

Пер. с англ. и научная редакция С. А. Цыбина, к. т. н., АО «КТЦ «ЭЛЕКТРОНИКА»,

А. В. Быстрицкого, к. т. н., АО «КТЦ «ЭЛЕКТРОНИКА»,

А. В. Строгонова, д. т. н., ФГБОУ ВО «ВГТУ», П. С. Городкова, ФГБОУ ВО «ВГТУ»

В книге приводится понятие устранимых ошибок, возникающих в ПЛИС типа ППВМ (FPGA – Field Programmable Gate Array) и графических процессорах. Рассматриваются радиационные эффекты в ПЛИС, отказоустойчивые методы для ПЛИС, применение серийно выпускаемых ПЛИС в авиации и космонавтике, экспериментальные данные о воздействии радиации на ПЛИС, встроенные в ПЛИС процессоры под воздействием радиации и внесение ошибок в ПЛИС.

Книга будет полезна не только инженерно-техническим работникам, занимающимся применением серийно выпускаемых ПЛИС в авиации, космонавтике, в приборостроении для транспорта и других критически важных областях народного хозяйства, но и магистрантам, обучающимся по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», а также аспирантам, проходящим обучение по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи».

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2019. – 326 с.,
ISBN 978-5-94836-513-8

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru

Прогнозирование надежности безнакальных магнетронов. Расширение технических возможностей

В. Мельников¹, д. т. н., Н. Скрипкин², С. Платонов³, к. т. н., Ю. Поляков⁴

УДК 621.385 | ВАК 05.27.02

Разработанный в ходе исследований физических процессов в безнакальном магнетроне мобильный автоматизированный измерительный комплекс позволяет произвести замеры ряда параметров, оказывающих критическое влияние на надежность изделия и исключить влияние человеческого фактора в процессе измерений его характеристик, а также обеспечить выработку дополнительных параметров – показателей, по изменению которых возможно прогнозирование надежности электровакуумных приборов. Целью исследований является систематизация известных подходов (методов), описывающих переход от параметров технологического цикла к параметрам прогнозирования надежности электровакуумных приборов.

Из литературных источников известны различные представления о работоспособности магнетронов с автоэмиссионным запуском [1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14], ведутся постоянные дискуссии по созданию конструктивных вариантов катодов с разными комбинациями материалов. Проводятся обсуждения особенностей предгенерационного режима, влияния длительности фронта, амплитуды, формы модулирующего импульса, степени обратной бомбардировки заряженными частицами, степени экранировки автоэммиттеров объемно-пространственным зарядом (для правильного выбора выступающей кромки автоэммиттера) на работоспособность магнетрона с безнакальным катодом. Дальнейшее изучение процессов в магнетроне с «холодным» катодом является основанием для поиска критериев и разработки математической модели, с помощью которой возможно создать систематизированный подход к оценке надежности изделия. Системный анализ изменения критериальных электрических параметров и характеристик магнетрона, являющихся показателями качества конструкции и технологического процесса производства изделий, является основой для прогнозирования надежности прибора. В данной статье описывается разработанный с использованием процедур математической обработки мобильный автоматизированный ком-

плекс по инженерной экспресс-оценке и прогнозирования надежности.

Наиболее сложной и трудоемкой частью анализа является определение корреляционных зависимостей между упомянутыми выше показателями качества и показателями надежности, а также поиск оптимальных значений этих показателей по критерию наивысшей надежности изделия в эксплуатации. Учитывая режим использования магнетронов в изделиях более высокого уровня иерархии, представляется обоснованным применять для оценки надежности магнетронов такой показатель, как коэффициент оперативной готовности ($K_{о.г.}$), который характеризуется вероятностью того, что в произвольный момент времени изделие будет работоспособным [2], в ответ на требование штатно проработает необходимый для выполнения задачи период времени.

В настоящее время, для магнетрона с «холодным» катодом в литературных источниках отсутствует информация для проведения подобной оценки. Анализ качества функционирования безнакального магнетрона в аппаратуре применения проводится по принятым критериям технических условий, являющихся частным вариантом общих технических условий (ОТУ), не предусматривающих разделения по типам конструкции генераторов М-типа. ОТУ содержат общие рекомендуемые параметры и методы их оценки, используемые для разработки проекта технических условий на этапе опытно-конструкторских работ с учетом конкретных данных технического задания. Техническое задание, согласованное с потребителем-разработчиком аппаратуры, также не включает в себя критерии и методы оценки

¹ АО «Плутон», генеральный директор.

² ООО «ОКБ «Плутон», начальник лаборатории – главный конструктор.

³ ООО «ОКБ «Плутон», начальник лаборатории радиотехнического оборудования – главный конструктор.

⁴ АО «Плутон», директор по технической политике – главный технолог.

и прогнозирование надежности в рамках текущих показателей качества, а содержит только граничные значения этих показателей, превышение которых расценивается как дефект. Наличие подобного дефекта на разных этапах жизненного цикла изделия, в том числе в составе аппаратуры применения, приводит к забракованию, как в процессе производства аппаратуры применения или ее эксплуатации.

С повышением степени завершенности производства электровакуумного прибора (ЭВП) в составе аппаратуры вплоть до поставки в эксплуатацию, материальные затраты от вышедшего из строя ЭВП в составе изделия применения могут значительно возрасти. При этом следует рассматривать комплекс «безнакальный магнетрон (или любой другой ЭВП) – аппаратура применения». Влияние источника питания и его модулятора на изменение характеристик безнакального магнетрона подробно указано в [3], поэтому необходимо рассматривать именно комплекс аппаратуры и ЭВП, учитывая, что требования ГОСТов по приемке и испытаниям серийных изделий требуют проводить испытания и контроль качества ЭВП в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации.

В качестве основных, базовых критериев качества, могут быть рассмотрены существующие в нормативных документах параметры. Постановка задачи сводится к оценке изменения действующего параметра и влияния указанного изменения на надежность. Например, в случае с безнакальным магнетроном, изменение флуктуации огибающей ВЧ-импульса внутри существующего допуска, как правило, не превышающего более 10 нс (среднеквадратическое отклонение) по техническим условиям, может быть использовано как критерий оценки качества комплекса «магнетрон – источник питания». Увеличение значения флуктуаций в процессе производства может свидетельствовать о необходимости дополнительной тренировки магнетрона, или необходимости дополнительной регулировки источника питания [3], при этом оценка влияния данных процессов на надежность носит только качественный характер, количественно оценить надежность, ввиду отсутствия соответствующей модели надежности и методики оценки пока не представляется возможным.

Наличие дополнительных параметров – критериев качества комплексов «ЭВП – аппаратура применения» и их анализ в процессе производства аппаратуры позволит прогнозировать дальнейшую надежность аппаратуры и конечного изделия на его основе при наличии адекватной модели оценки надежности и степени влияния дополнительных показателей качества на надежность.

При решении вышеупомянутых задач, появляется возможность дополнительного повышения надежности в эксплуатации за счет устранения отдельных

несовершенств комплекса «магнетрон – модулятор», выявленных при анализе причин отказов. Комплексы с отклонением от оптимальных значений по параметрам в процессе производства могут быть подвергнуты контролю по дополнительным параметрам, а также дополнительному воздействию в виде технологических операций, например по дополнительной тренировке, прогону, регулировке или настройке комплексов. При этом, увеличение стоимости затрат на проведение указанных операций, включающих практически только внутриводскую трудоемкость, будет значительно меньше и не сопоставимо по размерам потерь от ухудшения надежности и выхода из строя аппаратуры на более поздних этапах технологического цикла и тем более в эксплуатации.

Наиболее актуальным представляется использование именно автоматизированных систем для сбора и анализа параметров – критериев качества, во-первых, исключая влияние человеческого фактора, во-вторых, обеспечивая не только визуальное представление измеренных параметров и сравнение их оператором с установленной нормой, но и оригинальную математическую обработку, в результате которой возможно формирование рекомендаций по содержанию дополнительных мероприятий по обеспечению надежности в перспективе.

Например, при измерении флуктуации фронта огибающей ВЧ-импульса магнетронов в соответствии с требованиями [4] предусматриваются два метода:

- метод 1 – осциллографирование, предусматривающее только визуальную оценку флуктуаций;
- метод 2 – использование специальных измерителей флуктуаций, позволяющих аппаратным методом измерить изменение по времени флуктуации фронта с последующей математической обработкой результатов.

При этом определение границы «размытия» флуктуаций по методу 1 может быть довольно субъективным и вносить погрешность в оценке математического веса не учтенных импульсов в нормальном распределении случайной величины флуктуаций. Осциллограмма флуктуации фронта импульса ВЧ огибающей безнакального магнетрона, накопленная в режиме «послесвечения» осциллографа в течение 5 с, что соответствует 150 тыс. импульсов для данного магнетрона, показана на рис. 1. Сильная «размытость» участков не позволяет объективно оценить их вклад в нормальное распределение флуктуаций, что приводит к погрешности при их оценке и закладывает ошибку для дальнейшего анализа качества и надежности. Поэтому, предпочтительнее использование метода 2, позволяющего оценить математически дисперсию случайной величины флуктуаций с дальнейшим вычислением ее среднеквадратического отклонения.

При этом сохраняется возможность измерения и предельных значений флуктуации, а также частоты

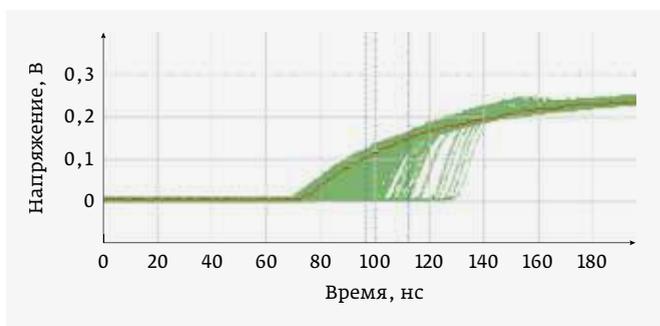


Рис. 1. Осциллограмма флуктуации фронта огибающей ВЧ-импульса безнакального магнетрона

возникновения флуктуаций того или иного значения (интервала значений).

Приборы для измерений флуктуаций – флуктуометры, возможно реализовать на базе стандартных средств измерений без необходимости разработки и изготовления специальной измерительной аппаратуры и программ и методик их аттестации. Таким стандартным средством измерения является цифровой запоминающий осциллограф с возможностью преобразования полученных результатов измерений в математические величины. Преимуществом такого технического решения также является присутствие осциллографов в реестре средств измерений.

Современные средства измерений позволяют предложить новый подход к задаче выработки дополнительных параметров – критериев качества. Основной целью предлагаемого подхода является не только измерение электрических параметров функционирования комплекса «магнетрон – модулятор», но и определение их стабильности, дисперсии, предельных значений,



Рис. 2. Мобильный автоматизированный измерительный комплекс для контроля безнакального магнетрона, в составе которого цифровой осциллограф, ноутбук с программным обеспечением, датчик тока, делитель напряжения

тенденции и скорости изменения, параметров их распределений, соотношений и корреляционных зависимостей друг от друга, а также от условий внешних факторов. Сутью предлагаемого подхода является применение процедур математической обработки такого массива информации в соответствии с разработанной моделью прогнозирования надежности; автоматическое формирование и, на следующем этапе, автоматизированная реализация индивидуального для каждого изделия технологического процесса, целью которого является устранение причин ненадежности изделий за счет приведения комплекса их параметров – критериев качества, к заранее определенному оптимальному и сбалансированному значению. При этом, траектория и длительность прогона, тренировки, формирование рекомендаций по настройке комплекса «магнетрон – модулятор» должны определяться исходя из особенностей каждого изделия (нормального технологического разброса, определенного в ходе измерений в процессе производства) для максимального соответствия конструктивно-технологических свойств и запасов режимам использования с целью достижения заданных показателей надежности. Более того, компактность и малая масса существующих средств измерений и вычислительных устройств позволяют создавать на их основе мобильные автоматизированные измерительные комплексы (МАИК). Прототип МАИК для оценки характеристик безнакальных магнетронов разработан и изготовлен в лаборатории радиотехнического оборудования АО «Плутон» (рис. 2). Разработанное с использованием стандартного языка программное обеспечение позволяет проводить математическую обработку и оценку изменения величин, измеренных цифровым осциллографом. В случае безнакального магнетрона такими величинами является напряжение начала генерации, скос плоской части модулирующего импульса напряжения, флуктуации фронта радиоимпульса, выброс импульса напряжения на фронте, ток начала генерации и др. Интерфейс программы МАИК с построенными графиками на основании данных, полученных в процессе измерений параметров безнакального магнетрона, показан на рис. 3.

Применение МАИК возможно в условиях производства магнетронов, в том числе с безнакальным запуском, например в составе стендов динамических испытаний. Возможно и необходимо использование МАИК в процессе производства аппаратуры применения с целью оценки качества комплекса «магнетрон – модулятор», в том числе начиная с операций по входному контролю. В качестве оборудования для входного контроля при производстве радиоэлектронной аппаратуры, как правило, используется идентичный по своим характеристикам стенд, в состав которого возможно включение МАИК. Удобство МАИК заключается в исключении человеческого фактора при оценке параметров – критериев качества с возможностью

оформления протокола испытаний в автоматическом режиме. Отличительной особенностью МАИК является низкая стоимость входящих в него компонентов (цифровой осциллограф, ноутбук с программным обеспечением, датчик тока, делитель напряжения). Применение МАИК у производителя аппаратуры позволяет выявлять по изменению параметров – критериев качества на разных этапах технологического цикла изделия с наименьшим конструктивно-технологическим запасом (КТЗ). Недостаточный КТЗ является отрицательным фактором и может послужить причиной появления несогласованных режимов применения, сопровождающихся дальнейшей деградацией и последующим отказом всего изделия. Добавляя в технологический процесс производства комплексов «магнетрон – модулятор», как указано выше, различные операции по настройке, регулировке, тренировке или прогону с одновременным контролем параметров – критериев качества, устанавливается оптимальный состав параметров, оказывающих влияние на надежность и сохранение КТЗ всего комплекса, вплоть до этапа применения изделия по прямому назначению.

Одной из целевых функций разработки и внедрения МАИК является снижение средней трудоемкости и себестоимости магнетронов, в том числе за счет увеличения процента выхода годных, а также за счет более эффективного использования оборудования для прогонов и тренировки изделий.

Так, трудоемкость может быть снижена за счет анализа МАИК параметров – критериев качества на примере технологического прогона при производстве аппаратуры с безнакальным магнетроном. Как правило, время технологического прогона устанавливается практическим путем и составляет одинаковую величину для всех изготавливаемых изделий и не учитывает особенности и КТЗ каждого из них. При анализе изменений параметров – критериев качества возможно сокращение времени у отдельных изделий за счет непрерывного контроля с помощью МАИК, то есть в тех случаях, где происходит стабилизация и улучшение в более короткие интервалы времени, чем это предписано для усредненного технологического процесса, что свидетельствует о высоком КТЗ и оптимально установленных режимах функционирования.

При наличии условий и физического доступа к контрольным контактам, возможно применение МАИК в эксплуатации при промежуточном контроле изделий, хранящихся на складах, в том числе при постановке задачи продления срока службы.

Изложенный выше принцип является универсальным и подходит для любых типов магнетронов и других электровакуумных приборов. Исследование и анализ с помощью МАИК параметров – критериев качества магнетронов (в том числе безнакальных), комплексов «магнетрон – модулятор» в составе аппаратуры применения является приоритетной задачей прогнозирования надежности.

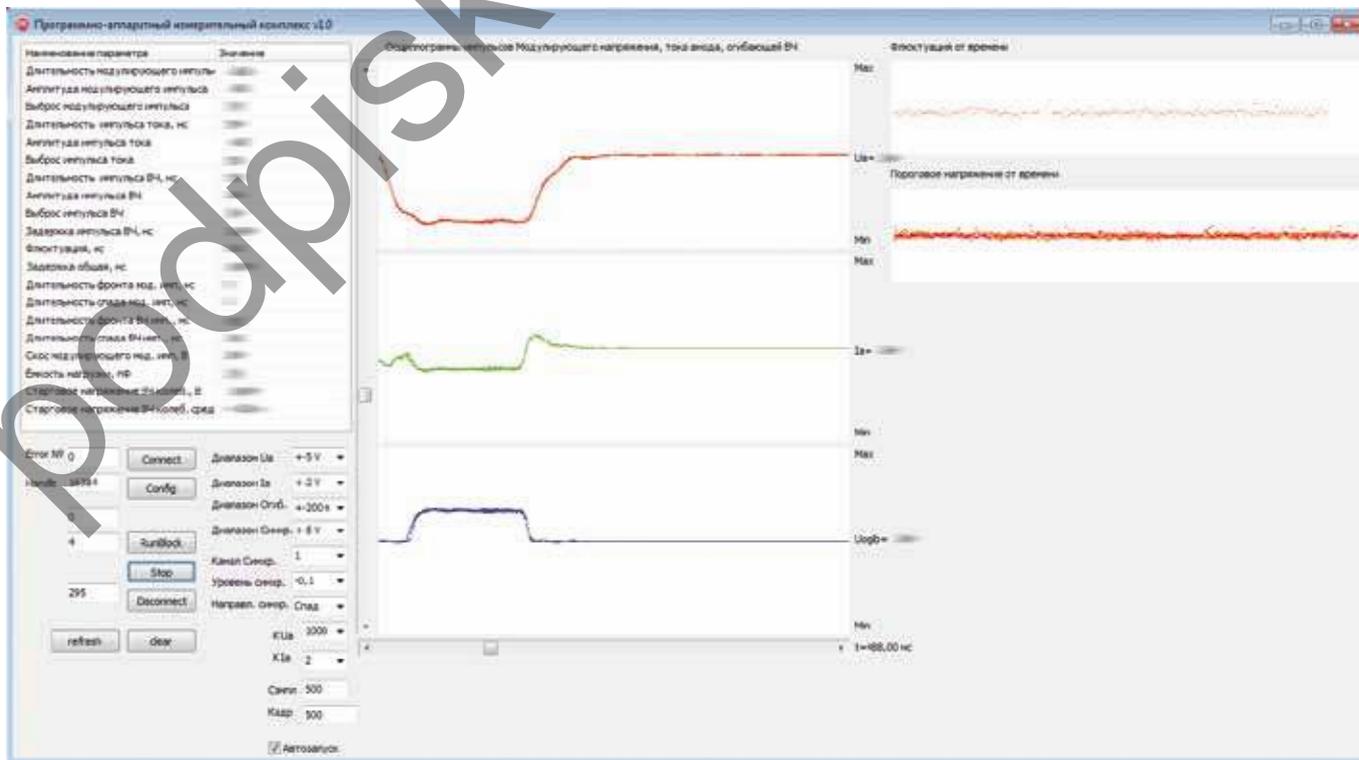


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения МАИК на примере работы безнакального магнетрона

Выполнение указанной задачи позволит выйти на качественно новый уровень в области организации контроля и оценки качества и надежности, позволит повысить эффективность используемых производственных мощностей, применяя их в первую очередь для изделий с наименьшим КТЗ (в рамках нормального технологического разброса).

Появляется возможность применения нового, адаптивного метода управления качеством на основании прогнозирования надежности и точечного увеличения КТЗ тех изделий и комплексов, где это необходимо в первую очередь. В АО «Плутон» указанный подход, в первую очередь, нужно использовать для безнакальных магнетронов. Это обусловлено уникальными свойствами функционирования наноструктурных элементов АЭК [5], обеспечивающих мгновенный запуск прибора, для чего необходима стабильная подача импульсного напряжения требуемого качества на всех этапах жизненного цикла изделия. Имеющийся разброс изделий по КТЗ позволит быстро оценить эффект от использования МАИК при их производстве в АО «Плутон» и у потребителя.

* * *

В процессе проведения работ создан мобильный автоматизированный измерительный комплекс, позволяющий на разных этапах производства проводить объективную инженерную экспресс-оценку качества и надежности изделий, осуществлять прогнозирование дальнейшей работоспособности на основе измерения электрических параметров изделия.

Основными задачами предстоящих исследований являются:

- поиск зависимостей, описывающих надежность комплексов «магнетрон – модулятор» от суперпозиции параметров – критериев качества и режимов функционирования;
- разработка математической модели надежности комплексов «магнетрон – модулятор»;
- разработка методов построения адаптивного технологического процесса в зависимости от конструктивно-технологических особенностей комплексов «магнетрон – модулятор» в рамках нормального технологического разброса;
- разработка и реализация автоматизированной технологии изготовления комплексов «магнетрон – модулятор» с применением средств инструментального контроля электрических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мельников В. А., Платонов С. А., Ли И. П., Поляков Ю. В.** Некоторые особенности функционирования магнетронов с безнакальным запуском // Вакуумная наука и техника. Материалы XXVIII научно-технической конференции с участие зарубежных специалистов. С. 289–293.
2. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.
3. **Мельников В. А., Платонов С. А., Ли И. П., Поляков Ю. В.** Особенности работы импульсных модуляторов с магнетронами с безнакальным запуском // Вакуумная наука и техника. Материалы XXVIII научно-технической конференции с участие зарубежных специалистов. С. 293–298.
4. ОСТ II 0354-86. Отраслевой стандарт. Магнетроны. Методы измерений электрических параметров.
5. **Ли И. П.** Наноструктуры в палладий-бариевых катодах СВЧ-приборов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технологии, Бизнес. 2018. № 5. С. 144–151.
6. Патент США № 3.109.123. Кл. 315–39.63. Приоритет в США – 1962 г. Заявитель: Raytheon. Изобретатель: Persy L. Spencer.
7. **Поляков В. С., Ли И. П. и др.** Эмиссионные свойства прессованных металлосплавных палладий-бариевых катодов // Материалы XIX научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». 2012. С. 210–212.
8. **Воген.** Газонаполненный магнетрон с холодным катодом // Сборник «Электронные СВЧ приборы со скрещенными полями». Т. 2 / Пер. под об. ред. Федорова М. М. М.: Иностранная литература, 1961. С. 268–279.
9. **Елинсон М. И., Васильев Г. Ф.** Автоэлектронная эмиссия. Государственное издательство физ.-мат. литературы. М., 1958. 272 с.
10. **Ли И. П. и др.** Прессованный металлосплавной палладий-бариевый катод для магнетронов с безнакальным запуском // Материалы XIX научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». 2012. С. 213–216.
11. Симс. Предгенерационные явления в облаке пространственного заряда ниже основного порога колебаний // Сб. «Электронные СВЧ приборы со скрещенными полями». Т. 1 / Пер. под об. ред. Федорова М. М. М.: Иностранная литература, 1961. С. 157–180.
12. **Скрипкин Н. И., Гурко А. А., Марин В. П.** Механизм образования пространственного заряда в безнакальном магнетроне с автоэмиссионным запуском // Научные технологии. 2006. Т. 7. № 9. С. 38–41.
13. **Гурко А. А., Еремка П. Д., Науменко В. Д., Скрипкин Н. И.** О физических процессах при образовании пространственного заряда в безнакальном магнетроне с автоэмиссионным запуском // Радиофизика и электроника / Сб. научных трудов НАН Украины. Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова. Харьков, 2008. Т. 13. № 1.
14. **Гурко А. А., Скрипкин Н. И., Поляков Ю. В.** Развитие представлений о принципе работы катода в магнетроне с автоэмиссионным запуском // Материалы XV Научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». Сочи. 2008 г.



АО «Плутон» представляет

ЛАМПУ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

3-х-миллиметрового диапазона длин волн
с выходной импульсной мощностью 100 Вт



АО «Плутон» – научно-производственный комплекс по разработке и производству электровакуумных СВЧ приборов широкого спектра применения, таких как: импульсные магнетроны, лампы бегущей волны, клистроны, а также радиопередающие модули на их основе.

ОЖИДАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ (режим измерения)	НОРМА
1	Рабочий диапазон частот, ГГц	93 – 95
2	Выходная импульсная мощность, Вт	100
3	Напряжение замедляющей системы, кВ	22
4	Амплитуда управляющего импульса, кВ	1,2
5	Минимальная скважность управляющих импульсов	5
6	Напряжение коллектора, кВ	8
7	Масса, кг	3
8	Охлаждение	кондуктивное на плиту крепления

Тестопригодное проектирование в компании Остек

Г. Максимов¹

УДК 621.317 | ВАК 05.27.06

«Сапожник без сапог»! Пожалуй, ни один производитель не захотел бы услышать о себе эту расхожую фразу. Тем более это касается компании Остек как основного поставщика решений для производства электроники на российском рынке. Их внедрение при разработке и производстве собственных продуктов не вопрос престижа или принципа – это жизненная необходимость. ООО «Остек-Электро» – это команда профессионалов в технологиях тестирования электроники. В статье на примере собственных разработок компании мы рассмотрим, как с помощью синтеза внутрисхемного тестирования и периферийного (граничного) сканирования электронных модулей добиться 100%-ной тестопригодности еще на стадии проектирования.

Как известно, при производстве электроники существуют различные подходы к контролю качества выпускаемой продукции. Многое зависит от сложности изделий, партии и жесткости эксплуатационных требований к аппаратуре. И, само собой, от того, насколько производитель озабочен качеством собственного продукта и насколько эффективную и передовую парадигму контроля он выбрал.

Очевидным и традиционным решением всегда был функциональный контроль. А поскольку вы хорошо знаете свое изделие и знаете, как его проверять, то с легкостью можете спроектировать тестовый стенд. Или нет? В идеальном мире возможно все, но в реальности эффективность и достаточность функционального контроля очень сильно ограничена заложенной в стенд глубиной диагностики, а также универсальностью по отношению к другим выпускаемым изделиям – иначе экономически целесообразным он будет лишь при большой серийности. Российская реальность такова, что крупную серийность на отечественных производствах электроники редко встретишь. С другой стороны, у всех широкая номенклатура изделий. В этих же обстоятельствах живет и ООО «Остек-Электро», но имеет преимущество в том, что является поставщиком современных технологических решений в области тестирования и потому пользуется этим преимуществом сполна в собственном проектировании и производстве.

На текущий момент общепринятыми технологиями электрического контроля выпускаемых электронных модулей, помимо функционального контроля (FT – functional test), являются внутрисхемное

тестирование (ICT – in-circuit test) и периферийное сканирование (BS – boundary scan) по стандарту IEEE 1149 через интерфейс JTAG. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, но их совокупность дает выдающийся уровень тестопригодности. Давайте рассмотрим эти технологии.

Метод внутрисхемного тестирования (ICT) позволяет проверять компоненты непосредственно в схеме без подачи штатного питающего напряжения. Таким образом выявляются дефекты номиналов электрических компонентов, а также проверяется функционирование таких компонентов, как диоды, транзисторы, оптопары, реле, трансформаторы и др. Сегодня потребность в подобном контроле возрастает из-за заполненности рынка ЭКБ контрафактом. Также на ранней производственной стадии выявляются такие грубые дефекты, как КЗ между цепями питания с общей шиной, способные привести к разрушительным последствиям. Для проведения тестирования по методике ICT используют тестеры с пробниками – «летающими» или в адаптере. И если адаптерные тестеры типа «ложе гвоздей» дают высокое быстродействие, то системы с летающими пробниками позволяют гибко подстраиваться под текущие потребности в тестировании изделий.

Популярные на российском рынке установки с летающими пробниками SPEA 4060 (рис. 1) позволяют обеспечить контакт даже с компонентами самых небольших типоразмеров, таких как 01005, с обеих сторон платы. Но тем не менее, каждое изделие имеет свои особенности доступа для пробников, что на практике усложняет или ограничивает возможности внутрисхемного тестирования.

В некоторых случаях нежелательно разрушительное физическое воздействие на контактную площадку или вывод компонента даже при использовании функции

¹ ООО «Остек-Электро», ведущий инженер, osteelectro@ostec-group.ru.



Рис. 1. Тестер с летающими пробниками SPEA 4060 S2

мягкого касания. Такие несложные на стадии проектирования меры, как выведение тестовых площадок на цепи с внутрисхемным тестированием, решают многие проблемы и существенно облегчают подготовку тестовых программ, повышают тестопригодность и увеличивают скорость проверки за счет доступа для всех пробников. На рис. 2 приведен пример подобной модификации на одном из собственных изделий ООО «Остек-Электро». Естественно, на каждом типе изделий предусмотрены реперные знаки с обеих сторон и поля платы с достаточным выносом без цепей и компонентов для беспрепятственной фиксации в рабочей зоне SPEA 4060.

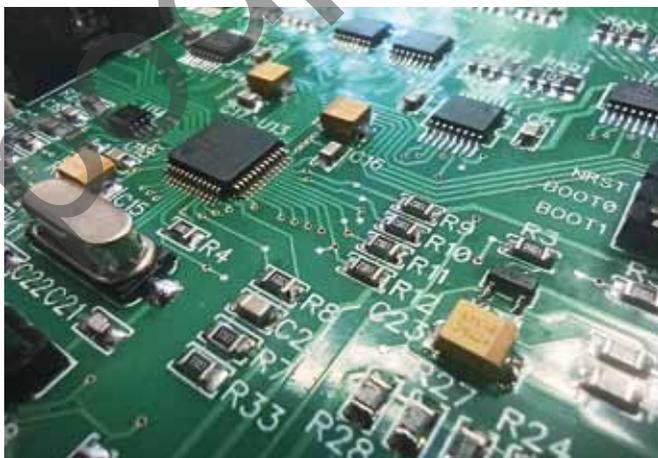


Рис. 2. Пример изделия ООО «Остек-Электро» с тестовыми точками

Для увеличения тестового покрытия схем преобразования питания предусмотрены развязывающие площадки, позволяющие контролировать работу каждого каскада изолированно. На рис. 3 для проведения контроля несложной схемы DC/DC-преобразователя напряжения VR1 с обвязкой предусмотрен разрыв цепи X1. Таким образом выходное напряжение, емкость выходных конденсаторов и напряжение стабилизации TVS-диода можно проверить без какого-либо воздействия относительно потребляющей схемы. Как только внутрисхемный контроль проведен, площадки разрыва X1 спаиваются для дальнейшей работы уже с запитанным изделием. Согласитесь, в большинстве случаев подобная доработка совершенно незначительно усложняет производственный процесс, но при этом сколько преимуществ дает для тестирования!

Однако из-за упора на внутрисхемное тестирование возможности системы ограничены для контроля цифровых схем. Существующие опциональные расширения позволяют подключать изделие через собственные разъемы к цифро-аналоговым модулям, но, во-первых, требуется их наличие в составе системы, а во-вторых, необходима изначальная серьезная проработка как самого изделия, так и тестовой программы.

И здесь на выручку как нельзя кстати приходит технология периферийного (граничного) сканирования, основанная на стандарте IEEE 1149. Речь, конечно же, о JTAG-тестировании, не нуждающемся в особом представлении для производителей цифровой электроники. Тем не менее, приведем краткую предысторию возникновения технологии периферийного сканирования и напомним основные принципы работы.

В конце прошлого века технология ICT стала отставать во всеобщей погоне за миниатюризацией и цифровизацией печатных плат и уже не удовлетворяла всем предъявляемым требованиям к тестированию. В результате поиска новых идей родился метод Boundry Scan и стандарт IEEE 1149, буквально открывший новую эпоху в тестировании сложных цифровых устройств. За разработку

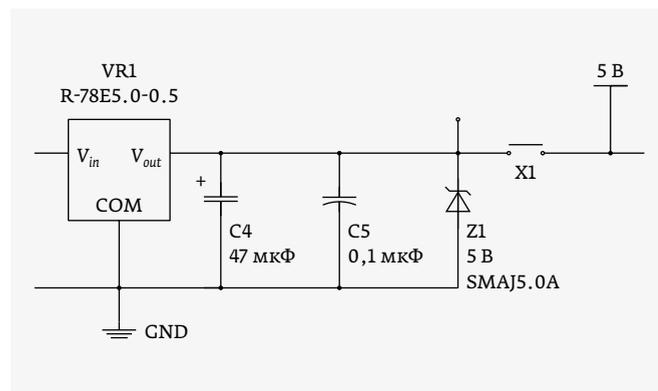


Рис. 3. Тестовая развязка X1 схемы питания

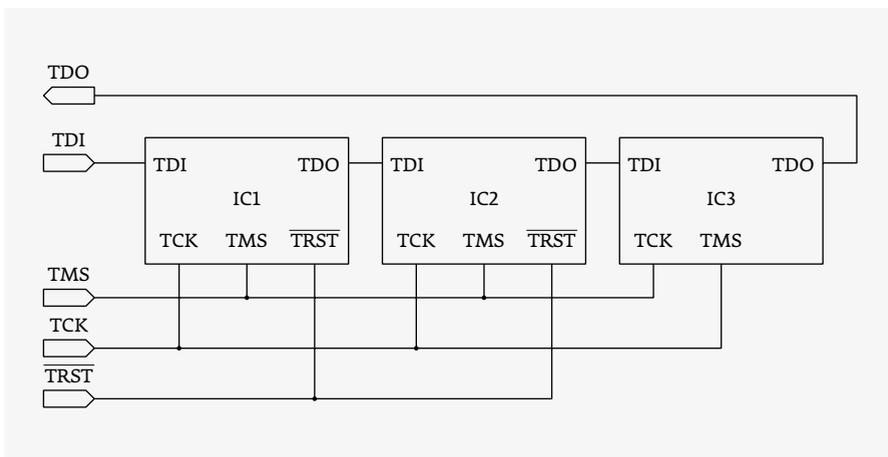


Рис. 4. Интерфейс JTAG. Линия \overline{TRST} в примере предусмотрена только для IC1 и IC2

и развитие стандарта отвечает так называемая группа JTAG (Joint Test Access Group), аббревиатура которой стала прочно ассоциироваться с аппаратным интерфейсом технологии периферийного сканирования. Его структура состоит из четырех обязательных линий с пятой опциональной (рис. 4). По линии TMS от JTAG-контроллера отправляются команды, а линия TCK осуществляет тактирование. Тестовая последовательность, определяющая логическое состояние выводов компонента, поступает по линии TDI и переходит к следующему компоненту JTAG-цепочки по линии TDO. Сброс JTAG-логики производится по линии \overline{TRST} или при ее отсутствии логической последовательностью по линии TMS. Каждый производитель микроэлектроники сам определяет аппаратную реализацию данного стандарта и описывает ее для конкретного компонента, будь то процессор или

ПЛИС, с помощью специального языка – BSDL (Boundary Scan Description Language).

Статус ведущего мирового разработчика и производителя программного обеспечения и оборудования для периферийного сканирования прочно удерживает компания JTAG Technologies (Нидерланды). Богатый функционал и широкий спектр их решений, а также сильная поддержка клиентов есть и на российском рынке.

Мы начали использовать возможности технологии периферийного сканирования на основе станций JTAG Technologies, как только сами начали разрабатывать цифровые устройства с применением компонентов с поддержкой стандарта IEEE 1149. Насколько изделие тестопригодно можно оценить уже на стадии создания электронной принципиальной схемы. Достаточно экспортировать ее в формате нетлиста (Tango, Protel 2.0, PDF, ODB++ и др.) и загрузить в программу JTAG ProVision, где легко проводится анализ схемы и компонентов на наличие тестовых моделей и доступа к цепям. Взглянув на изделие с нового угла, разработчик может не только немного доработать схему и повысить тестовые возможности, но и найти схемотехнические ошибки, ведь программа дает обратную связь по конфликтам в цепях. Именно поэтому при создании нового изделия тестопригодность мы оцениваем уже на ранней стадии, до заказа печатной платы и компонентов. Экономия ресурсов налицо.

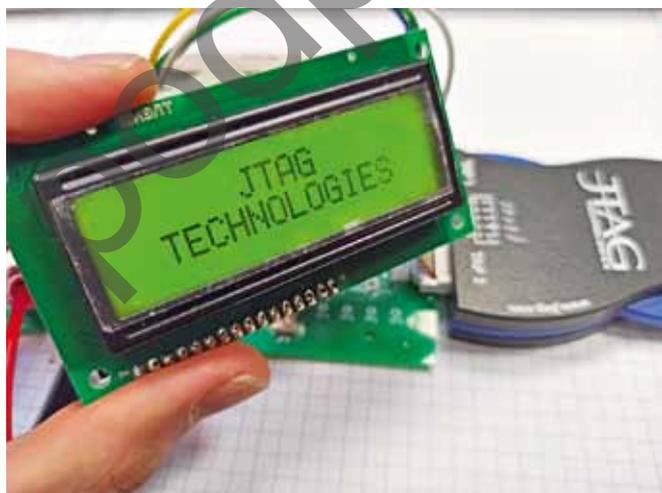


Рис. 5. Работа дисплея в составе изделия при запуске JFT-приложения

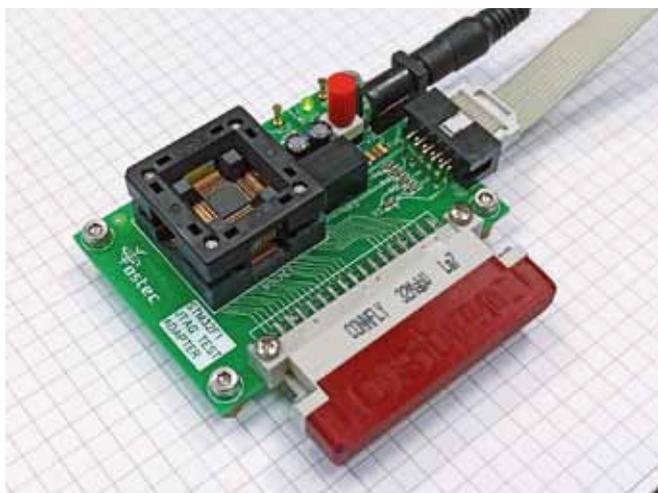


Рис. 6. Оснастка для входного контроля микроконтроллеров STM32

Когда плата уже собрана, но готовой прошивки еще нет, технология JTAG оказывается также чрезвычайно полезной на стадии программной отладки. В ПО JTAG ProVision заложена возможность создавать пользовательские функциональные приложения (JFT – JTAG Functional Test) на языке Python. Они удобны, не отягощены функционалом полноценных IDE и запускаются «на лету». При этом используются лишь JTAG-регистры компонента – никакая информация в ОЗУ или ПЗУ не записывается, ядро никак не участвует. Таким образом за относительно небольшое время решается вопрос отладки будущей прошивки, пускай и на Python, а не привычном C/C++, но главное здесь – подтвердить концепцию. С другой стороны, мы делаем функциональные приложения для включения их в итоговую тестовую последовательность. Автоматически генерируемые в ProVision приложения могут иметь ограниченную проверку периферийных компонентов. Например, у цифрового термометра может проверяться отклик по линии обращения I²C, но замер температуры может не производиться. Для восполнения подобных задач и нужен JFT.

На одном из собственных изделий у нас таким способом была отлажена программа работы знакогенерирующего дисплея МЭЛТ (рис. 5), где в коде были допущены ошибки с последовательностью команд.

Для входного контроля микроконтроллеров STM32, используемых в собственных изделиях, предусмотрена специальная оснастка с сокетом под корпус LQFP-48 (рис. 6). Через JTAG-интерфейс проводится тест инфраструктуры, а также два теста соединений: сначала без замыкающего цепи разъема для поиска коротких замыканий, а затем с разъемом для поиска обрывов. Заказчикам предлагаются подобные решения входного контроля микросхем

под необходимые корпуса, будь то BGA или QFP с большим числом выводов. Оснащение ПО ProVision опцией CoreCommander позволяет заглянуть еще глубже и через JTAG-интерфейс проложить мост к внутренней архитектуре компонента. Через доступ к внутренней шине можно работать с памятью, протоколами обмена и управлять выводами там, например, где нет регистра периферийного сканирования.

В результате привлечения к тестированию технологий ICT и JTAG покрытие тестами некоторых наших изделий достигло 100% и во многих случаях перекрывается. Как человек устойчиво стоит на двух ногах, так и электроконтроль печатных узлов в современной индустрии опирается, с одной стороны, на технологию периферийного сканирования для проверки цифровой части, а с другой стороны, на внутрисхемное тестирование для выявления дефектов цепей и компонентов до подачи питания на изделие. Но мы не достигли потолка в тестопригодном проектировании (DFT – design for testability).

Собственные продукты активно развиваются, становятся сложнее и будут требовать вовлечения тех возможностей, которые не нужны сейчас. Например, может потребоваться не только тестирование за одно подключение к изделию, но и прошивка микросхем флеш-памяти и ПЛИС. Или использование цифро-аналоговых и частотных проверок с помощью модулей смешанных сигналов типа J1512 компании JTAG Technologies. Но уже сейчас можно сказать, что внедрение технологий тестирования дает нам неоспоримое преимущество как разработчику не только эффективных, но и надежных решений. ●



Мы на  YouTube



ТЕХНОСФЕРА

Подписывайтесь



Оснастка компании АО «ЗПП» для отечественной и импортной ЭКБ

Р. Зубарев¹, Е. Горбунцов²

УДК 621.3 | ВАК 05.27.06

АО «Завод полупроводниковых приборов» (АО «ЗПП») – предприятие Республики Марий Эл, занимающееся разработкой и производством металлокерамических корпусов для изделий микроэлектроники. АО «ЗПП» входит в состав ГК «Элемент», которая объединяет ведущие российские предприятия в сфере разработки, производства и дизайна микроэлектроники, являясь партнером первой линии для промышленного, телекоммуникационного, финансового и энергетического сегментов и обеспечивая реализацию проектов развития цифровой экономики. АО «ЗПП» имеет многолетний опыт в области разработки и производства металлокерамических корпусов. В последние несколько лет на базе предприятия налажены также собственные разработка и производство контактных устройств и графитовой оснастки. Об этой продукции АО «ЗПП» рассказывается в статье.

КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Контактные устройства (КУ) – это электромеханические устройства, предназначенные для обеспечения электрического контакта между электрорадиоизделиями (ЭРИ) и измерительным оборудованием при проведении испытаний. Разработанные и изготовленные в АО «ЗПП» конструкции контактных устройств сочетают в себе перспективные технические решения, уникальные термостойкие материалы и высокотехнологичные контакты. На текущий момент спроектировано и отгружено заказчикам более 50 видов различных контактных устройств.

Все контактные устройства перед отправкой потребителю проходят проверку на соответствие в отделе технического контроля. В паспорте на контактное устройство подтверждается, что оно изготовлено в соответствии с действующей технической документацией и признано годным к эксплуатации. Контактные устройства проходят целый ряд испытаний:

- проверку соответствия габаритам и установочным размерам;
- проверку правильной работы механизма фиксации крышки;
- проверку контактирования;
- проверку массы;
- испытания на воздействие изменения температуры;

- измерение сопротивления, индуктивности и емкости контакта;

- измерение емкости между соседними контактами.

К преимуществам КУ производства АО «ЗПП» относятся:

- разработка и производство в РФ;
- применение высококачественных материалов;
- использование высокотехнологичных контактов;
- технологичность и удобство применяемых конструкций;
- наличие собственного испытательного центра с возможностью проверки соответствия параметров КУ требованиям, предъявляемым потребителями;
- гибкий процесс разработки на основе 3D-моделирования;
- проектирование нестандартных, специализированных решений;
- разработка и производство изделий для электронной компонентной базы (ЭКБ) отечественного и импортного производства;
- диапазон рабочих температур от –70 до 180 °С (в зависимости от исполнения);
- стойкость к спецфакторам;
- более 200 тыс. рабочих циклов;
- шаг вывода от 0,3 мм;
- ремонтпригодность.

Сегодня АО «ЗПП» предлагает следующие типовые конструкции контактных устройств:

- модульное КУ с механизмом закрывания;
- модульное КУ без механизма закрывания;

¹ АО «ЗПП», начальник отдела по гражданской продукции, ogp@zpp12.ru.

² АО «ЗПП», начальник инструментального отдела, ino@zpp12.ru.

- КУ для безвыводных корпусов (без скрытия контактов);
- КУ для безвыводных корпусов (со скрытием контактов);
- КУ для корпусов с керамическими платами-изоляторами;
- КУ со спутником-носителем;
- КУ для силовых корпусов.

Разработка новых конструкций КУ продолжается и определяется требованиями, предъявляемыми потребителями. В перспективе планируется изготовление КУ для СВЧ-техники. Рассмотрим основные особенности упомянутых выше типов контактных устройств.

Модульное КУ с механизмом закрывания. Данная конструкция (рис. 1) является наиболее сложной, но это и определяет ее основные преимущества. Модульное исполнение, прежде всего, обеспечивает универсальность – возможность повторного использования данного варианта КУ для различных корпусов или интегральных микросхем после недорогой замены полимерных вставок. Это в значительной мере оправдывает стоимость данных изделий.

Применение специального механизма открытия и закрытия крышки предотвращает возможное повреждение тестируемого корпуса / интегральной микросхемы, обеспечивает максимально простую и легкую установку / снятие и позволяет изменять усилие прижатия.

Модульное КУ без механизма закрывания. Эта конструкция (рис. 2) менее сложная за счет отсутствия специального механизма открытия и закрытия крышки. Фиксация крышки здесь достигается очень просто – за счет металлической защелки. Однако модульность конструкции в КУ данного типа сохраняется, также обеспечивая возможность повторного использования КУ для различных корпусов / интегральных микросхем путем всего лишь замены полимерных вставок.

В крышке КУ есть вырез для доступа к тестируемому корпусу / интегральной микросхеме. Возможен вариант исполнения такого КУ со спутником-носителем.

КУ для безвыводных корпусов / микросхем (без скрытия контактов). Данная конструкция (рис. 3) не обладает универсальностью, но при этом имеет меньшие габариты, массу и небольшую стоимость. Для фиксации крышки КУ также используется металлическая защелка. При этом крышка оснащена подвижной вставкой, которая обеспечивает равномерное прижатие.

КУ для безвыводных корпусов (со скрытием контактов). Данная конструкция (рис. 4), как и КУ без скрытия контактов, не универсальна, но имеет малые габариты, вес и стоимость. Особенностью КУ данного типа является площадка, скрывающая подпружиненные контакты в открытом состоянии, что, в свою очередь, позволяет

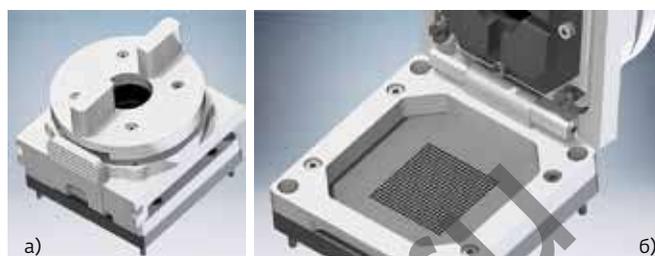


Рис. 1. Модульное КУ с механизмом закрывания в закрытом (а) и открытом (б) состояниях



Рис. 2. Модульное КУ без механизма закрывания: а – общий вид; б – увеличенный вид

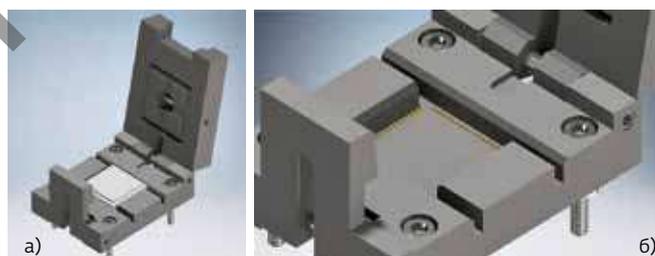


Рис. 3. КУ для безвыводных корпусов / микросхем (без скрытия контактов): а – общий вид; б – увеличенный вид

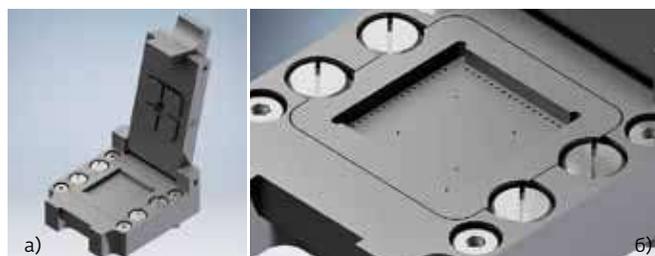


Рис. 4. КУ для безвыводных корпусов (со скрытием контактов): а – общий вид; б – увеличенный вид

защитить их от механических повреждений. Крышка КУ также фиксируется с помощью металлической защелки и имеет подвижную вставку, обеспечивающую равномерное прижатие.

КУ для корпусов с керамическими платами-изоляторами на выводной рамке. Данная конструкция КУ (рис. 5) применяется для корпусов/интегральных микросхем с керамической рамкой. Конструкция не универсальна, но обладает сравнительно небольшими габаритами и массой.

Фиксация крышки КУ обеспечивается за счет нескольких защелок. При этом крышка выполнена отдельно от остальной конструкции, что дает возможность легко установить корпус/микросхему с керамической рамкой в КУ. В крышке предусмотрен вырез для обеспечения доступа к тестируемому корпусу/интегральной микросхеме.

КУ со спутником-носителем. Данная конструкция (рис. 6) предполагает применение со спутником-носителем, что позволяет исключить возможное повреждение или изгиб выводов корпуса/интегральной микросхемы. В отдельных случаях спутник-носитель играет роль переносной межоперационной тары. КУ имеет сравнительно небольшие габариты и малый вес. Спутник-носитель может поставляться как в комплекте с КУ, так и отдельно. Крышка КУ фиксируется за счет защелки и имеет вырез для обеспечения доступа к тестируемому корпусу/интегральной микросхеме.

КУ для силовых корпусов. Предназначено для силовых корпусов/интегральных микросхем. В конструкции данного КУ (рис. 7) используются специальные подпружиненные контакты, способные выдерживать большие токи – до 20 А.

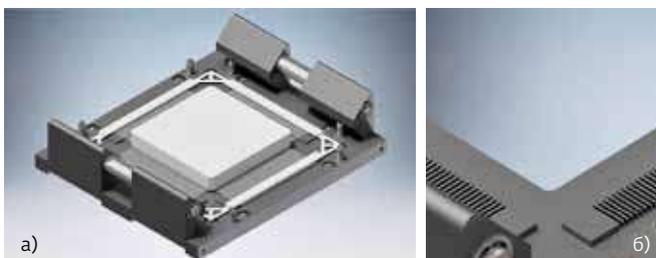


Рис. 5. КУ для корпусов с керамической рамкой: а – общий вид; б – увеличенный вид



Рис. 6. КУ со спутником-носителем: а – открытое со спутником-носителем; б – закрытое со спутником-носителем; в – открытое без спутника-носителя

Механизм открытия и закрытия крышки КУ также простой – фиксация за счет двух защелок. В крышке есть вырез для доступа к тестируемому корпусу/интегральной микросхеме.

За время развития направления контактных устройств в АО «ЗПП» специалистам удалось реализовать множество полезных характеристик изделий и обеспечить простоту их использования при высокой надежности и скорости выполнения операций установки/снятия испытываемой ЭКБ.

ГРАФИТОВАЯ ОСНАСТКА

После успешного освоения пять лет назад технологии пайки столбиковых выводов на корпуса типа CCGA (Ceramic Column Grid Array – керамический корпус с матрицей столбиковых выводов) АО «ЗПП» наладило разработку и изготовление графитовой оснастки не только для собственных потребностей, но и под задачи потребителей, которым ранее приходилось размещать такие заказы за пределами нашей страны. Данная оснастка позволяет проводить сборку, монтаж, пайку и обеспечивать равномерность высот столбиковых выводов, как на корпусах отечественного производства, так и на импортных.

Основными преимуществами нашей оснастки являются: собственная разработка, полный цикл изготовления внутри предприятия, применение материалов, которые, несмотря на особую специфику, изготавливаются в нашей стране, а это, в свою очередь, позволяет существенно сократить сроки поставки товара.

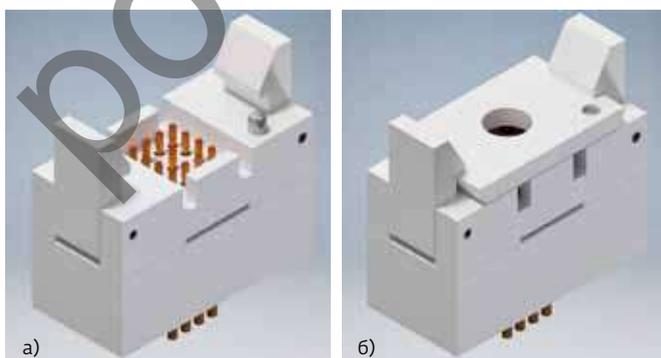


Рис. 7. КУ для силовых корпусов: а – открытого типа; б – закрытого типа

Перечень основных узлов и деталей, из которых состоит комплект типовой оснастки, включает в себя следующие позиции:

- **кассета для пайки** – необходима для установки и фиксации металлокерамической платы перед монтажом столбиковых выводов;
- **приемник** – служит для хранения и размещения столбиковых выводов;
- **приспособление для снятия корпуса** – применяется для извлечения готового корпуса после проведения процесса пайки;
- **приспособление для центровки корпуса** – обеспечивает совпадение монтажных площадок и устанавливаемых столбиковых выводов;
- **трафарет** – применяется в процессе нанесения раковой полосой равномерного слоя паяльной пасты через перфорированные отверстия на плату;
- **приспособление для шлифовки выводов** – необходимо на финишной операции для стабильного обеспечения равномерной высоты припаянных столбиковых выводов.

Для выпуска таких высокоточных деталей в инструментальном цехе завода полностью выстроен

и отлажен технологический процесс, а также проверка на контрольных операциях, начиная с распила материала под заготовки и заканчивая окончательной сборкой и приемкой ОТК. Перед запуском в производство оснастки все ключевые вопросы, предложения, сроки изготовления и конструктивные особенности согласовываются с непосредственным заказчиком. Далее идет этап изготовления продукции на современных прецизионных станках с ЧПУ, которые на отдельных деталях обеспечивают точность $\pm 0,01$ мм.

В зависимости от потребности заказчик может разместить у нас как единовременный заказ, так и серийное изготовление оснастки. Имея уже существенный опыт по реализации поставок на внутренний рынок, наше предприятие продолжает активно расширять и наращивать номенклатуру и типоразмеры оснастки данного класса. Мы всегда готовы к сотрудничеству с новыми партнерами для совместного развития отечественной микроэлектроники.

На данный момент поставленная АО «ЗПП» задача по созданию отечественного производства контактных устройств и графитовой оснастки выполнена и полученные результаты обеспечивают дальнейшее развитие выбранных предприятием новых направлений. ●

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ НАНОСТРУКТУРНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Жигачев А. О., Головин Ю. И., Умрихин А. В., Коренков В. В., Тюрин А. И., Родаев В. В., Дьячек Т. А., Фарбер Б. Я.

Под общей редакцией Ю. И. Головина

2-е изд., доп. и испр.

Книга написана коллективом авторов, имеющих опыт в области создания, исследования и реализации материалов и изделий на основе как химически чистого диоксида циркония, так и природного бадделейта с примесями.

Книга будет интересна широкому кругу читателей: от студентов естественно-научных специальностей до инженеров, технологов и медицинских работников, связанных с практическим применением циркониевой керамики.

Разработка методов синтеза, получение и подготовка оригинальных керамических образцов на основе бадделейта выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10405). Отработка методик исследования и определение физико-механических характеристик осуществлены при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 16.2100.2017/ПЧ).

Разработка и реализация новых подходов и методов термографической диагностики и контроля осуществлены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00602).

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2020. – 370 с.,
ISBN 978-5-94836-607-4

Цена 840 руб.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru