

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

1

2022

 YouTube

ЦСМ KEYSIGHT – МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА МИРОВОГО УРОВНЯ

В номере:

Продолжаем изучение Proteus:
работаем с SPI и I²C

Радиочастотные разъёмы:
технологии надёжных соединений

Индустрия 4.0:
цифровые двойники повсюду

Дефицит электронных
компонентов:
причины и последствия



ПОВЕРКА
И КАЛИБРОВКА



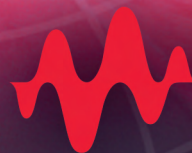
РЕМОНТ
И НАСТРОЙКА



ДИАГНОСТИКА
И МОДЕРНИЗАЦИЯ



РАСШИРЕННАЯ
ТЕХНИЧЕСКАЯ
ПОДДЕРЖКА



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

СЕРВИСНЫЕ РЕШЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

NEW



7F Series Black edition

Шкафные вентиляторы и решетки с фильтром в черном цветовом исполнении

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВАШЕЙ ЭНЕРГОСЕТИ

Janitza[®]

UMG 604-PRO

Анализаторы энергии для экономии
до 30% энергоресурсов
при амортизации до 3-х лет



НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ



- + Выходные мощности:
1 / 1,5 / 1,7 / 2,7 / 3,4 / 5 и 7,5 кВт
- + Выходное напряжение от 10 до 600 В
- + Выходной ток от 2,6 до 500 А
- + КПД до 92% на полной нагрузке
- + Управление: LAN, USB, RS-232/485
- + Вес менее 7,5 кг, высота модуля 1U для 19" стойки
(модель на 1,5 кВт имеет размер 1/2 19" стойки)

- + GSP 10 кВт, GSP 15 кВт – готовые модули
с завода-изготовителя, состоящие из ведущего
модуля и одного или двух ведомых
- + Полный заводской контроль качества
и тестирование
- + Привлекательная цена
- + Управление: LAN, USB, RS-232/485,
Modbus-TCP





Здравствуйте, уважаемые друзья!

Вот и подошёл к завершению 2021 год. Что готовит нам год грядущий?

COVID-19 пока не побеждён, поэтому главные экономические и технологические риски по-прежнему связывают с ним. В области электроники и микроэлектроники это, в первую очередь, дефицит электронных компонентов, о котором не писал в уходящем году только ленивый. Компонентный голод привёл к серьёзной политической напряжённости вокруг TSMC, а Европа и США вследствие создавшейся ситуации планируют строительство собственных кремниевых фабрик. Тем не менее жизнь продолжается: перестраиваются логистические схемы, корректируются производственные планы и, по некоторым прогнозам, в грядущем году промышленность сумеет приспособиться к новым реалиям, что позволит избежать масштабных коллапсов.

2022 год обещает множество технологических прорывов в области виртуализации, нейросетевых алгоритмов и процессоров, освоения 3 нм норм производства кристаллов, применения цифровых двойников и дополненной реальности, освоения терагерцового волнового диапазона и квантовых вычислений, развёртывания сетей 5G и WiFi 6, использования автономных роботов с ИИ, а также многого другого.

А редакция журнала «Современная электроника» желает вам и вашим близким, в первую очередь, хорошего здоровья. Конечно же – семейного уюта, счастья, любви, стабильного финансового благополучия! Пусть все сюрпризы и неожиданности будут только приятными, а трудности – легко преодолимыми.

Надеемся и впредь оставаться в вашей компании!

Всего вам доброго!

Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»
Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков
Заместитель главного редактора
А. В. Малыгин

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

Вёрстка А. М. Бабийчук

Обложка Д. В. Юсим

Распространение А. Б. Хамидова (info@soel.ru)

Реклама И. Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

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

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,
Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

info@soel.ru • www.soel.ru

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

Журнал зарегистрирован в Федеральной
службе по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых
коммуникаций и охране культурного наследия
(свидетельство ПИ № ФС77-18792
от 28 октября 2004 г.)

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19,
бизнес-центр Вэлдан.

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только
с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы
несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут
авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает
с мнением авторов.

Все упомянутые в публикациях журнала
наименования продукции и товарные знаки
являются собственностью соответствующих
владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2021

ЧИТАЙТЕ
ЖУРНАЛ

В ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ

на сайте soel.ru

после простой регистрации

и

В ПЕЧАТНОЙ ВЕРСИИ

по подписке

СОДЕРЖАНИЕ 1/2022

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

Keysight	1-я стр. обл.
Delta Design	43
TDK-Lambda	1
АВД Системы	6
ИРБИС	4
КОМПЭЛ	4
МОРИОН	5
Остек-СМТ	5
Платан-Энерго	2-я стр. обл.
Протон-Электротекс	7
СКТБ РТ	7
ТЕСТПРИБОР	4-я стр. обл.
ЭРКОН	5, 27

Читайте в «СТА» № 1/2022:

Как заслужить доверие: разработки FASTWEL на базе «Эльбрусов» и «Байкалов»

Новая концепция ПЛК: говорим REGUL R100, подразумеваем – надёжность

Индустрия из коробки: модульная ОС для промышленного робота

Золотой ключик от Schroff: магистрально-модульные системы на любой вкус



Оформляйте подписку на журнал «СТА» и читайте печатную версию или электронную версию на www.cta.ru

РЫНОК

- 4** Новости российского рынка
- 8** Ведущие производители полупроводниковых электронных компонентов и дефицит их продукции. Часть 1. Контрактные производители
Виктор Алексеев

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 22** Новейшие достижения компании SV Microwave/Amphenol в области радиочастотных соединений
Кива Джуринский
- 26** Мощные резистивные поглотители (фиксированные аттенюаторы и эквиваленты нагрузок) с воздушным охлаждением
Игорь Белков, Юрий Еремеев, Илья Малышев

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 30** НЧ-генератор синусоидальных сигналов с 12 фиксированными частотами
Алексей Кузьминов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 36** Работа с последовательным интерфейсом SPI в программной среде Proteus 8.11. Часть 2
Татьяна Колесникова
- 44** Монтаж компонентов и связанные с ним технологии. Подсистема ГРИФ-4 – Монтаж. Часть 2
Юрий Ёлшин
- 48** Работа с последовательным интерфейсом I²C в программной среде Proteus 8.11
Татьяна Колесникова
- 58** Delta Design Simtera. Новости первой российской САПР проектирования, моделирования, а также синтеза RTL для конфигурирования ПЛИС
Никита Малышев, Алексей Ерёмин, Артём Варганов, Сергей Ярцев
- 62** Цифровые двойники в промышленности: истоки концепции, современный уровень развития и примеры внедрения
Денис Хитрых

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- 68** Нижегородская радиолaborатория: история первого советского научно-исследовательского центра в области радиотехники
Владимир Бартенев

Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С РАСШИРЕННЫМ ДИАПАЗОНОМ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР И ВХОДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Функциональное назначение:

Одноканальный стабилизирующий модуль питания категории качества «ОТК». Возможно применение в аппаратуре специального назначения. Поставляются во всеклиматическом исполнении «В» по ГОСТ 1150. Разработаны и выполнены в соответствии с военными стандартами РФ.

Технические характеристики:

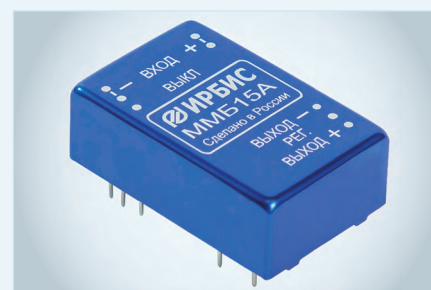
Конструктивно выполнен в металлическом корпусе, залитом компаундом. Нестабильность выходного напряжения при изменении входного $\pm 0,5\%$. Нестабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки 1%. Минимальный ток нагрузки – холостой ход. Нестабильность выходного напряжения при изменении температуры окружающей среды в рабочем диапазоне $\pm 1,5\%$. Величина напряжения радиопомех ИВЭП по ГОСТ В 25803-91 (группа 2.1, кривая 2). Амплитуда пульсации выходного напряжения (от пика до пика) не

Наименование	Входное напряжение, В			Номинальное выходное напряжение, В	Максимальный ток нагрузки, А
	Мин.	Ном.	Макс.		
MMP15-3,3	9	24	36	3,3	4,00
MMP15A				5	3,00
MMP15Д				9	1,67
MMP15В				12	1,25
MMP15С				15	1,00
MMP15Е				24	0,64
MMP15Н				27	0,55

более 50 мВ. Электрическая прочность изоляции между входными и выходными контактами: 500 В постоянного напряжения.

Модуль имеет функции: дистанционное выключение, регулировка выходного напряжения, защита от перегрузки по току и от короткого замыкания (к. з.) по выходу. После снятия перегрузки или к. з. модуль автоматически восстанавливает свои выходные параметры. Время к. з. не ограничено. КПД до 90%. Ток потребления в режиме холостого хода не более 7 мА.

Стойкость к воздействиям механических и климатических факторов, специальных сред со значениями характеристик соответствует группе 3У по ГОСТ РВ 20.39.412-97. Диапазон рабо-



чих температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ при температуре корпуса ИВЭП не более $+105^{\circ}\text{C}$. Масса 15 г.

www.mmp-irbis.ru
main@mmp-irbis.ru
 +7 (495) 927-10-16
 +7 (800) 350-10-16

Конфигурируемые источники питания MEAN WELL – экономичный конструктор для сборки ИП под любую задачу

Среди продукции MEAN WELL имеется отдельный класс источников питания – конфигурируемые. Подобные источники питания позволяют снизить стоимость системы питания в тех случаях, где требуется несколько каналов выходного напряжения и необходимо использовать несколько AC/DC-преобразователей. Применяя в этом случае конфигурируемый блок питания, можно обойтись всего одним AC/DC-преобразователем.

Класс конфигурируемых источников питания предполагает, что их можно заказать или самостоятельно собрать под требуемые параметры. Подобные источники питания состоят из основной первичной базы на определённую выходную мощность и ряда отдельных вторичных модулей на определённые выходные напряжение и мощность. Выбирая вторичные модули, можно сконфигурировать источник питания, имеющий до 6 различных выходных напряжений (до 6 каналов). Данные модули

Наименование серии	NMP650	NMP1K2
Выходная мощность, Вт	650	1200
Количество слотов	4	6
Выходное напряжение, В	5/12/24/48/($\pm 3 \dots 30$)	
Коэффициент коррекции мощности	$> 0,95$	
Изоляция «вход-выход», В AC	4000	
Температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$	$-30 \dots +70$	
Размеры, Ш $\times$ Г $\times$ В, мм	250 $\times$ 89 $\times$ 41	250 $\times$ 127 $\times$ 41

очень просто монтируются и, кроме этого, их можно соединять параллельно для увеличения выходного тока или последовательно для получения нестандартного выходного напряжения. Вторичные модули выпускаются на однополярное и биполярное напряжения. Конфигурируемые источники питания востребованы в приложениях, где требуется несколько выходных напряжений, например, для питания электронной части устройства и электропривода.

Конфигурируемые источники питания соответствуют требованиям медицинского сертификата EN60601-1 ред. 3.1, и их можно использовать в устройствах, имеющих контакт с телом пациента (тип BF; 2xMOPP).

Основные технические характеристики ИП серий NMP650 и NMP1K2 представлены в таблице, а их внешний вид изображён на рисунке.

Особенности:



- конфигурируемые выходные параметры:
 - количество выходных напряжений (каналов);
 - значение выходных напряжений;
- возможность программирования выходных параметров;
- каскад коррекции мощности;
- возможность применения в медицинских устройствах (2xMOPP);
- низкий профиль (41 мм; 1U);
- дистанционное управление;
- гарантия до 5 лет.

Применение:

- медицинские устройства (сканеры);
- лабораторное оборудование;
- телекоммуникационное оборудование;
- промышленное оборудование;
- устройства лазерной обработки материалов.

www.compel.ru
msk@compel.ru
 +7 (495) 995-0901

УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР С ДВОЙНЫМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕМ ГК209-ТС

АО «МОРИОН» (Санкт-Петербург) – ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства кварцевых приборов стабилизации и селекции частоты – представляет новые варианты исполнения ультрапрецизионного кварцевого генератора с двойным термостатированием ГК209-ТС.

Генератор ГК209 является устройством с очень высокой температурной стабильностью в широком интервале температур.

Интервалы рабочих температур: $-40...+70^{\circ}\text{C}$.

Температурная стабильность частоты: до $\pm 1 \times 10^{-10}$; $\pm 5 \times 10^{-11}$.

Напряжение питания генератора: 12 В или 5 В.

Генератор ГК209-ТС с габаритными размерами $36 \times 27 \times 19$ мм обладает низкой G-чувствительностью 1×10^{-9} и хорошей долговременной стабильностью до $\pm 1 \times 10^{-8}$ в год.



Добавлены новые варианты исполнения генераторов в корпусах 40×50 мм и 50×50 мм, высотой 19 мм.

Для реализации температурной стабильности $\pm 1 \times 10^{-10}$ или $\pm 5 \times 10^{-11}$ (особенно для варианта с питанием 5 В) основное ограничение – падение напряжения на земля-

ном выводе. Оно изменяется в интервале температур, так как потребляемая генератором мощность изменяется.

Для того чтобы уйти от этого паразитного падения напряжения к надёжной реализации температурной стабильности такого высокого уровня, предлагаются варианты с отдельным земляным выводом для управления частотой либо вариант генератора с ЦАП.

Вариант с ЦАП (LTC2606, 16 бит) реализован в стандартных пятиногих корпусах.

Данная разработка превосходит по параметрам и предлагается в качестве замены выпускавшимся генераторам ГК89, ГК142, ГК180. С аналоговым управлением в варианте без дополнительной «земли» новый генератор полностью совместим со старыми пин в пин.

morion.com.ru

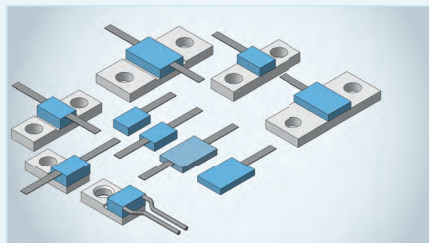
morion@morion.com.ru

+7 (812) 350-75-72

+7 (812) 350-92-43

РАСШИРЕННАЯ НОМЕНКЛАТУРА ТИПОРАЗМЕРОВ МОЩНЫХ СВЧ- РЕЗИСТОРОВ P1-17 КАТЕГОРИИ КАЧЕСТВА «ВП»

По многочисленным запросам АО «НПО «ЭРКОН» расширило номенклатуру типоразмеров популярных мощных СВЧ-резисторов P1-17 РКМУ.434110.001 ТУ категории качества «ВП». Резисторы дополнены тремя значениями номинальной мощности рассеяния (25, 40 и 100 Вт) и имеют фланцевое и бесфланцевое конструктивные исполнения, в том числе для использования в качестве оконечных нагрузок: P1-17-25-4,



P1-17-40, P1-17-40-1, P1-17-40-2, P1-17-40-3, P1-17B-40, P1-17-100, P1-17-100-1, P1-17-100-2, P1-17-100-3. Рабочий диапазон частот резисторов составляет от 0 до 4 ГГц (допустимо использование на более высоких частотах).

Упрощена процедура заказа бесфланцевого исполнения резисторов мощностью рассеяния 150, 250, 400 Вт (введены обозначения исполнений): P1-17-150-2, P1-17-150-3, P1-17-250-1, P1-17-250-3, P1-17-400-1, P1-17-400-3, P1-17-400-3.1.

Расширенная вариативность конструктивных и функциональных параметров позволяет подобрать оптимальное решение для вашего применения.

www.erkon-nn.ru

sales@erkon-nn.ru

+7 (831) 202-25-52

+7 (831) 465-64-31

СОБЫТИЯ

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ ПРИГЛАШАЕТ

Академия технологий – уникальный обучающий проект, созданный экспертами Остек-СМТ для руководителей производств, главных технологов, инженеров и специалистов российских промышленных предприятий, в первую очередь, для сборочно-монтажных производств РЭА. Цель проекта – сформировать полноценную базу знаний, включающую разные срезы: от тенденций и технологических решений до вопросов эксплуатации систем. Это опыт, которым специалисты Остек-СМТ готовы поделиться с сотрудниками производств с целью их развития и обучения новым производственным технологиям.

Следуя мировым тенденциям, Остек-СМТ стремится активно содействовать развитию заказчиков-специалистов в области высоких

технологий и понимает важность этой составляющей для рынка. В обучающий комплекс Академии входит целый набор форматов: видеообзоры решений и технологий, записи вебинаров, репортажи с производств, экспертные статьи, онлайн- и офлайн-мероприятия. База знаний располагается по адресу ostec-smart.ru/media. К большей части контента доступ свободный, для полного доступа ко всему контенту требуется несложная регистрация на сайте.

База знаний Академии будет постоянно пополняться новыми материалами и событиями. Следить за обновлениями можно как на сайте Остек-СМТ в разделе «Академии», так и подписавшись на ютуб-канал «Академия технологий Остек-СМТ», где публикуется весь «открытый» видеоконтент проекта.

Остек-СМТ – подразделение Группы компаний Остек, специализирующееся на реше-



ниях комплексной автоматизации сборочно-монтажных производств радиоэлектронной аппаратуры, промышленных аддитивных технологиях и неразрушающем контроле.

ostec-smart.ru

smart@ostec-group.ru

+7 (495) 788-44-41

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».

Компания 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 распределённых систем управления высокой надёжности, таких как автоматизация подстанций и управление движением. Набор называется «Flexibilis Redundant Switch» и является торговой маркой финской компании Flexibilis, приобретённой TTTech в 2016 году.

Оба протокола, и HSR, и PRP, основаны на посылке источником информации двух копий пакета двумя физически независимыми путями. В случае получения приёмником обеих копий информации вторая копия игнорируется,

а в случае потери одной копии вторая используется приёмником. Предполагается, что оба физических пути независимы 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, т.е. 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, т.е. резервирование происхо-

дит только на уровне пакетов, а увеличение объёма 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.

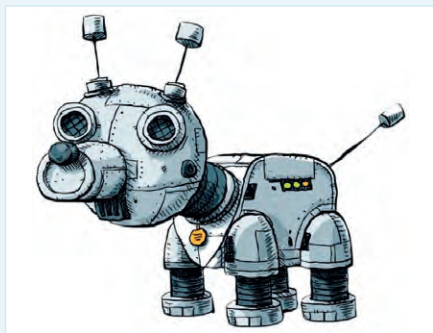
Дистрибьютор компании TTTech в России – компания «АВД Системы», поставщик средств разработки программного обеспечения, критически важных для безопасности сертифицируемых встраиваемых компьютерных систем.

www.avdsys.ru
avdsys@aha.ru
 +7 (916) 194-42-71

НОВОСТИ МИРА

В Совфеде предложили ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «РОБОТ» И КЛАССИФИКАЦИЮ РОБОТОВ

Комплексный законопроект о правовом регулировании отношений в сфере оборота роботов, который, в частности, даёт определение понятию «робот», делит роботов на классы, а также закрепляет принципы взаимоотношений робота и человека, разработан в Совете Федерации и направлен для отзыва в Минэкономразвития и Минцифры, сообщает ТАСС, обильно цитируя документ.



Законопроект определяет робота как продукт достижений цифровых технологий (робототехническое устройство, комплекс, система), состоящий из двух или более составных частей, управляемый средствами заложенной в него компьютерной программы и способный как к выполнению заранее

запрограммированных человеком действий, так и к автономному решению задач.

В Совфеде, сообщает ТАСС, выделяют два вида роботов: гражданские и служебные: «Гражданский робот – робот, деятельность которого направлена на реализацию частных интересов, оборот которого регулируется гражданским законодательством. Служебный робот – робот, деятельность которого направлена на реализацию интересов государства и общества, вовлечённый в сферу деятельности институтов публичной власти».

Гражданские роботы, в свою очередь, подразделяются на промышленных, сервисных, медицинских, образовательных, научных. Служебные – на военных и правоохранительных.

Как уточняется в документе, роботы, а также их составные части в зависимости от степени опасности причинения вреда охраняемым законом интересам личности, общества и государства подразделяются на четыре класса опасности: первый класс (высокой опасности), второй класс (средней опасности), третий класс (низкой опасности), четвертый класс (неопасные).

«Критерии отнесения роботов, их составных частей (модулей) к I–IV классам опасности по способности причинения вреда охраняемым законом интересам личности, общества и государства устанавливаются

правительством РФ по представлению федерального органа исполнительной власти, уполномоченного в сфере оборота роботов», – говорится в пояснительной записке к законопроекту, которую цитирует ТАСС.

Роботов первого, второго и третьего классов предлагается относить к источникам повышенной опасности. К таким роботам, если законом и иными нормативными правовыми актами не установлено иное, применяются общие положения гражданского законодательства об ответственности за вред, «причинённый деятельностью, создающей повышенную опасность для окружающих».

Законопроект также выделяет два типа роботов в зависимости от характера и степени участия человека в их функционировании: управляемые и автономные.

«На территории Российской Федерации запрещается оборот роботов, обладающих возможностью самостоятельного принятия решений и способных действовать на основании самостоятельно сформулированного поведенческого алгоритма, которым намеренно приданы свойства для обеспечения их применения с использованием оружия, его основных частей, боеприпасов, взрывчатых веществ и взрывных устройств либо иного вооружения», – говорится в законопроекте.

d-russia.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Принципы проектирования компании «Протон-Электротекс» на примере линейки новых однопозиционных модулей

В 2021 году АО «Протон-Электротекс» приступило к серийному производству однопозиционных модулей с максимально допустимым средним током в открытом состоянии до 700 А. В материале отражены основные принципы, применяемые в компании при разработке новых продуктов.

На протяжении многих лет компания «Протон-Электротекс» занимается разработкой и изготовлением силовых полупроводниковых приборов прижимной и паяной конструкций, а также силовых сборок на их основе. На предприятии организован полный цикл производства, особое место в котором занимает этап проектирования и разработки.

Основной задачей данных подразделений является создание новой, качественной, надёжной и безопасной продукции. В 2021 году отдел разработки приборов прижимной конструкции расширил номенклатуру изделий, выпускаемых компанией, линейкой однопозиционных диодных и тиристорных модулей с шириной основания 50 мм. Данному типу модулей был присвоен внутренний суффикс В0.

Модули предназначены для установки в преобразователях энергии, а также в других цепях постоянного и переменного тока различных силовых электротехнических установок. Основные области применения модулей В0 – системы управления электроприводом и двигателем постоянного тока, выпрямительные мосты, регуляторы переменного тока, источники питания и другие коммутационные установки.

Линейка В0 представлена однопозиционными тиристорными и диодными модулями,

которые производятся в диапазоне напряжений (UDRM/URRM) 1000...6500 В на максимально допустимый средний прямой ток / средний ток в открытом состоянии (IFAV/ITAV) до 700 А.

Новые модули имеют следующие особенности:

- высокая стойкость к циклическим механическим, электрическим и температурным нагрузкам;
- корпус промышленного стандарта, упрощающий применение приборов в существующем оборудовании и предоставляющий возможность замещения аналогов;
- высокая прочность изоляции, номинальное значение напряжения изоляции до 7 кВ АС (50 Гц, 1 мин);
- высокий уровень ударного тока в открытом состоянии ITSM и ударного прямого тока IFSM обеспечивает надёжную защиту от выхода из строя оборудования в критических режимах работы преобразователей;
- низкое тепловое сопротивление интерфейсов конструкции, что в совокупности с улучшенными электрическими параметрами позволяет обеспечить значение среднего прямого тока и среднего тока в открытом состоянии IFAV/ITAV до 700 А.

Таким образом, приборы разработанной линейки обладают высокой конкурентоспособностью и имеют ряд вышеуказанных преимуществ перед аналогами, что стало возможным благодаря принципам, заложенным в процесс разработки.

За многолетнюю историю в компании устоялись традиционные принципы отечественного инжиниринга, которые заложены в процессном подходе к проектированию и разработке. К основным фундаментальным принципам в компании относят:

- принцип выпуска качественной продукции;
- принцип проявления научно-исследовательского подхода;

- принцип технико-экономического баланса;
- принцип раннего анализа рисков;
- принцип обеспечения безопасности;
- принцип клиентоориентированности.



Современный рынок силовых полупроводниковых приборов разнообразен продукцией от компаний из разных стран. В погоне за низкой стоимостью производители и потребители зачастую пренебрегают, на первый взгляд, незначительными деталями, которые в перспективе могут глобально повлиять на безопасность и надёжность оборудования, что, в свою очередь, может повлечь серьёзные финансовые потери и, главное, опасные для жизни человека ситуации. Компания «Протон-Электротекс» выпускает продукцию с оптимальными показателями цены и качества, что подтверждается максимальным комплексом испытаний, установленных отраслевыми стандартами.

О компании АО «Протон-Электротекс»: АО «Протон-Электротекс» – российский лидер проектирования и производства силовых полупроводниковых приборов, включая диоды, тиристоры и IGBT-модули, а также охладителей, силовых сборок и измерительного оборудования. Компания находится в городе Орле и поставляет продукцию через свою партнёрскую и дистрибьюторскую сеть по всему миру.

www.proton-electrotex.com

+7 (4862) 44-04-56

marketing@proton-electrotex.com

АО «СКТБ РТ» приглашает к сотрудничеству

АО «СКТБ РТ» является разработчиком и производителем современных электронных изделий для перспективных образцов радиоэлектронной аппаратуры специального и общепромышленного применения на базе отечественной комплектации.

Шагая в ногу со временем, в рамках реализации стратегии развития электронной промышленности РФ АО «СКТБ РТ» ведёт активную работу по программам импортозамещения и диверсификации производства.

Многолетний опыт в области проведения опытно-конструкторских работ позволяет АО «СКТБ РТ» разрабатывать новые электронные изделия и модернизировать серийно производимые по техническим требованиям заказчика.

По программе импортозамещения разработан ряд изделий, которые являются аналогами продукции таких иностранных производителей, как: Interpoint (США), Vicor Corporation (США), Epcos (Германия), Omron (Япония), Tyco Electronics (США), Teledyne Relays (США), Panasonic (Япония), Micropac Industries (США), International Rectifier (США), Mini-Circuits (США).



ОАО «СКТБ РТ»

www.sktb-relay.ru

+7 (8162) 62-17-35

+7 (8162) 61-64-46

office@sktbrt.ru

Ведущие производители полупроводниковых электронных компонентов и дефицит их продукции.

Часть 1. Контрактные производители

Виктор Алексеев (victor.alexeev@gmail.com)

Пандемия COVID-19 вызвала катастрофические проблемы с грузовыми перевозками во всём мире. В начале 2020 года импорт упал на 5,8%, а экспорт фактически вырос на 1,3%. Морские грузовые контейнеры постепенно скапливались в портах Европы и Америки, поскольку в них просто нечего было везти обратно в Азию. Цены на новые контейнеры и фрахт поднялись в несколько раз. Вслед за этим поползли вверх цены на материалы и оборудование. В конце 2019 года резко упал спрос на новые автомобили, но вырос спрос на компьютеры и офисную технику. Производители полупроводниковых электронных компонентов (ПЭК) из-за отсутствия спроса и многочисленных возвратов сократили выпуск комплектующих для автомобильной электроники, переключившись на другие направления. В середине 2020 года спрос на автомобили возобновился, но одновременно образовался дефицит на электронные компоненты, необходимые для их оснащения. С одной стороны, это было связано с тем, что примерно 90% сложных ПЭК производится в Азии, а проблема с морскими грузовыми перевозками только усилилась в 2020 году. С другой стороны, сказалась переориентация производства ПЭК на компьютеры и смартфоны.

Постепенно нарастающая паника привела к дефициту комплектующих для всех отраслей электронной промышленности. По мнению экспертов, последствия мирового логистического кризиса и дефицита ПЭК будут ощущаться и в течение 2022 года.

Мировой кризис поставок полупроводниковых электронных компонентов в 2019–2020 гг.

Пандемия COVID-19, закрытие границ и локдаун в большинстве стран, падение акций крупнейших мировых корпораций до минимума 1987 года, рухнувшие цены на нефть, санкции США против китайских производителей полупроводниковых электронных компонентов (ПЭК), запрет Японии на поставки ПЭК в Южную Корею – вот основные характеристики состояния мировой экономики весной 2020 года. Практи-

чески все страны приняли специальные меры эпидемиологической безопасности при контроле грузов на сухопутных, морских и авиационных таможенных постах, что вызвало беспрецедентные задержки доставки грузов.

В марте 2020 года нехватка рабочей силы привела к длительным задержкам и очередям на самых загруженных морских терминалах мира [1]. В период с марта по май 2020 года импорт из стран азиатского региона упал примерно на 6%, тогда как экспорт фактически вырос более чем на 2%. В результате контейнеры постепенно скапливались

в портах Европы и Америки, поскольку в них просто нечего было везти обратно в Азию (рис. 1).

Весной 2020 года из каждых 100 контейнеров, доставленных в порты Северной Америки, обратно отправляются только 40. Как следствие, в Китае, Сингапуре, на Тайване и в других азиатских странах начали и продолжили расти в 2020–2021 гг. цены на морские грузовые контейнеры и их транспортировку. Если пригодные для перевозки контейнеры можно было купить за 800...1200 долларов до 2020 года, в 2021 году они стоили уже от 2200 до 2800 долларов. Аналогично увеличились в среднем на 50% цены на аренду контейнеров [3].

Стали возникать сбои в деятельности сборочных предприятий, работающих без складских запасов в режиме поставок комплектующих на конвейер точно по времени. Все эти факторы привели к проблемам в мировой индустрии производства полупроводниковых электронных компонентов (ПЭК). Основные трудности возникли в Китае и других азиатских странах, где власти использовали крайне жесткие ограничительные меры. Полностью было закрыто достаточно большое число заводов и фабрик.

Летом 2020 г. отчетливо обозначилась проблема несбалансированности распределения по всему миру предприятий, производящих ПЭК. В конце 90-х на долю США приходилось примерно 37% мирового производства полупроводников. В III квартале 2021 г. в Северной Америке было произведено чуть больше 20% от мирового объема полупроводниковых компонентов, а в Европе и Японии – примерно по 7% [4]. При этом более 65% производственных мощностей переместилось в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (рис. 2).

Весной и летом 2020 года в период локдауна по всему миру продажи автомобилей резко упали, и ведущие автопроизводители стали отменять свои заказы на специализированные автомобильные ПЭК [6]. Как следствие, фирмы, изготавливающие подобного рода чипы, были вынуждены существенно сократить или даже

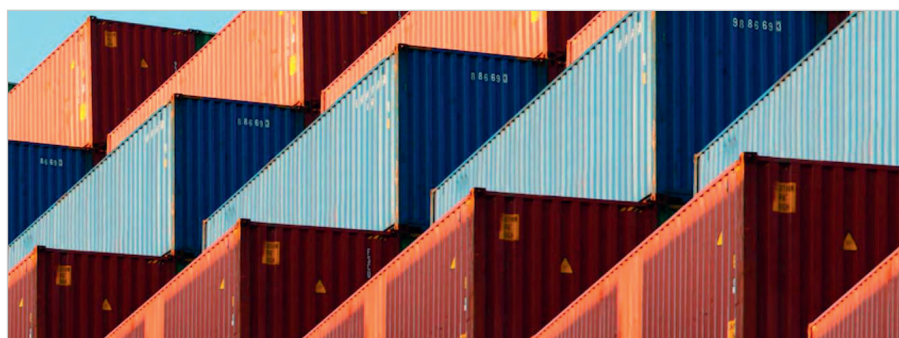


Рис. 1. Весной 2020 года грузовые контейнеры постепенно скапливались в портах Европы и Америки [2]

прекратить производство этой продукции [7].

После отмены жёстких локдаунов летом 2020 года люди, отложившие ранее запланированные покупки и опасаящиеся заразиться в городском транспорте вирусом COVID-19, начали массово приобретать автомобили. Немаловажную роль сыграли деньги, сэкономленные на отдыхе и развлечениях в период вынужденного домашнего заточения. Таким образом, в конце 2020 г. спрос на автомобили не только вернулся к своему докризисному уровню, но даже заметно превысил его. Как следствие, возник острый дефицит специализированных автомобильных ПЭК, производство которых было сокращено весной 2020 г.

Одновременно в середине 2020 года, благодаря удалённому обучению школьников и студентов, а также работе в домашних офисах, начали расти продажи компьютеров и другого офисного оборудования. Кроме того, возник беспрецедентный спрос на игровые консоли [8]. Поэтому потребление ПЭК этого класса превысило объёмы, которые на тот момент могли предложить производители [9].

В середине 2020 года доминировало мнение, что ведущие производители и дистрибьюторы ПЭК обладают достаточными финансовыми средствами для того, чтобы быстро создать необходимое буферное количество запасов на своих складах и обеспечить гибкую логистику [10, 11]. Однако ситуация не только не улучшилась в конце 2020, но и заметно ухудшилась в 2021 году.

В ответ на нарастающий дефицит большинство крупных производителей электронного оборудования начали формировать сверхнормативные складские запасы и размещать многократно увеличенные заказы, что, в свою очередь, только усугубило ситуацию.

Уже в I квартале 2021 г. явно обозначился дефицит комплектующих, предназначенных для таких приложений бытовой электроники, как IoT, компьютерная техника, офисное оборудование, игровые консоли и т.д. Например, сократился выбор дешёвых ноутбуков, а игровые приставки и вовсе стало трудно найти в магазинах большинства стран мира. В конце 2020 года спрос на бытовое электронное оборудование увеличился в среднем по всему миру примерно на 8% [12].

В течение всего 2021 года в разряде дефицитных оставались микросхемы

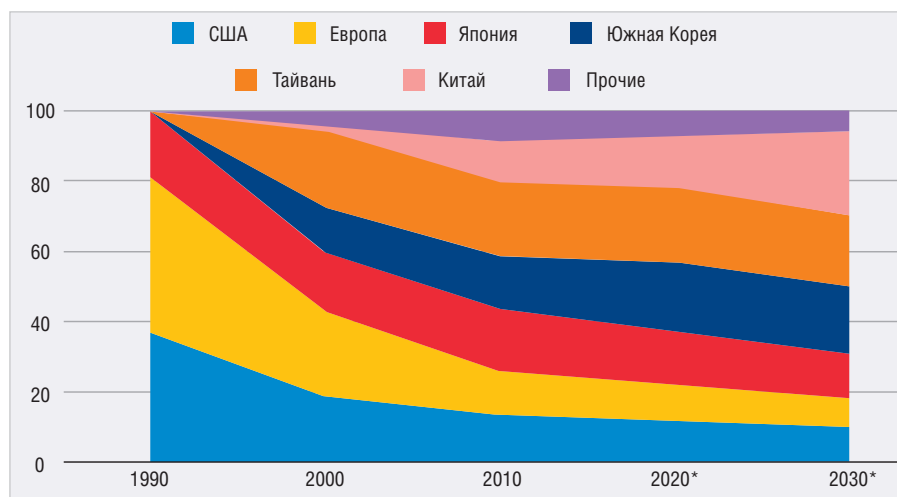


Рис. 2. Большинство заводов по производству ПЭК было сосредоточено в 2020 году в странах Азиатского региона [5]

управления питанием, микросхемы памяти, логические ПЛИС, контроллеры ЖКД, дискретные силовые транзисторы, управляющие микроконтроллеры, чипы беспроводной связи и другие. Проблемы с поставками возникли и в самом начале производственной цепочки, где в дефиците оказались 200 мм кремниевые пластины, используемые для дешёвых стандартных микросхем.

Среднее время ожидания для поставок чипов на фабрики выросло примерно с 12 недель до пандемии до 22 недель в среднем в октябре 2021 [13].

Продукция таких фирм, как Infineon Technologies AG, Microchip Technology Inc и других, всё ещё оставалась труднодоступной. Осенью 2021 увеличилось число фирм, которые предупредили о более длительном, чем ожидалось, дефиците их продукции. В числе этих фирм можно назвать такие хорошо известные из них, как Continental AG, Innolux Corp, Renesas Electronics Corp, Samsung и другие [14].

По некоторым позициям приводятся совершенно обескураживающие данные. Так, например, CIQ сообщила, что время поставки стандартных логических устройств увеличилось в среднем на 75%. Согласно Supplyframe, сроки изготовления диодов Vishay, полевых транзисторов Infineon MOSFET, полимерно-танталовых конденсаторов Kemet могут растянуться до 6–10 месяцев [15].

В конце ноября 2021 года Cisco предупредила покупателей и инвесторов, что проблемы с цепочкой поставок сохранятся в 2022 году, и сроки изготовления конечного оборудования, заказанного в 2021 году, могут составлять несколько месяцев [16].

Финансовый директор фирмы Juniper на ежегодной встрече с инвесторами

сказал, что возросшие сроки поставки некоторых типов ПЭК вызовут задержку отгрузки готовой продукции фирмы в некоторых случаях на 50 недель, а в других могут превысить 80 недель [17].

В 2021 году заметно ухудшилась ситуация с морскими контейнерными перевозками. На рейдах портов всего мира, по данным на начало октября 2021 года, в ожидании разгрузки простаивало больше 350 контейнеровозов, на борту которых скопилось в общей сумме около двух миллионов 20-футовых контейнеров [18].

Стоимость перевозки грузов морскими контейнерами заметно увеличилась в 2021 году. Общий рост стоимости таких перевозок за последние 12 месяцев превысил 500% [19]. По данным аналитической компании Xeneta, стоимость контейнерных перевозок через Тихий океан в октябре 2021 года колебалась от 5500 до 20 000 долларов [20].

В связи с Рождеством ситуация в конце 2021 г. с морскими контейнерными перевозками ухудшилась настолько, что её, по всей видимости, не удастся нормализовать в течение всего 2022 года [21, 22, 23].

Пандемия, логистика, локальные форс-мажорные обстоятельства, ошибки планирования и общая паника вызвали дефицит не только электронных компонентов, но также сырья и материалов. Согласно оценкам [24], в IV квартале 2021 г. выросли цены на следующие материалы:

- медная фольга: 30–50%;
- стекловолокно: 24–40%;
- эпоксидная смола: 25–30%;
- листовой металл: 10–20%;
- картон для упаковки: 15–30%.

Вслед за сроками поставок, транспортными расходами, ценами на сырьё синхронно увеличивались цены на ПЭК.

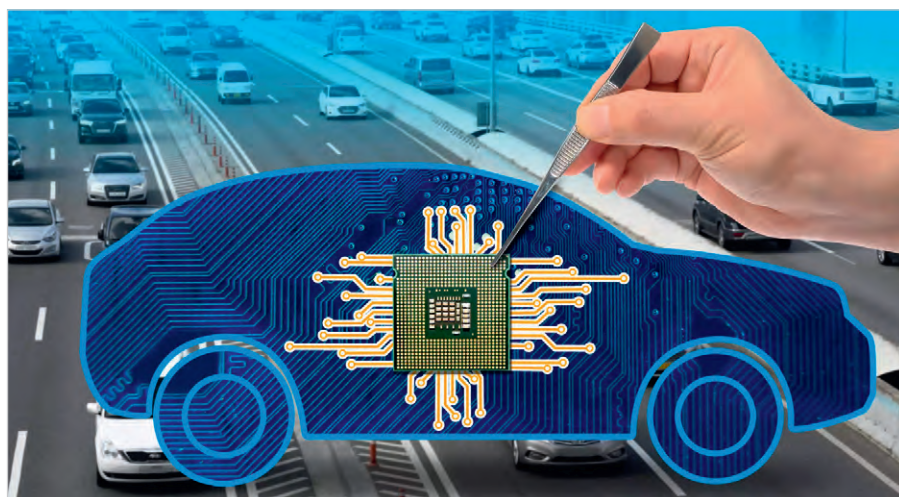


Рис. 3. Проблему с выходом автомобильной электроники на нормальный режим работы удастся решить не раньше 2023 года [36]

Таблица 1

Пассивные электронные компоненты	Резисторы, конденсаторы и др.	20–25%
	Аккумуляторы	10–15%
	Кварцевые генераторы	10–20%
	Разъёмы и кабели	10–50%
МЭМС, встраиваемые	Акселерометры, гироскопы, датчики давления и температуры	20–30%
Контроллеры	Микроконтроллеры	10–55%
	Контроллеры локальных сетей	25–45%
	Микросхемы управления питанием PMIC	10–50%
Аудио	Кодеки	25–60%
	Усилители мощности, ПУ	25–60%
Стандартные ИС	Логика, усилители, АЦП, ЦАП и т.д.	10–50%
Специальные ИС	ПЛИС, сборки на кристалле	20–65%
Транзисторы	МОП-транзисторы	20–40%
Память	Flash-память	20–55%
	DRAM-память	50–70%
Платы	Печатные платы	10–25%
Дисплеи	Промышленные ЖК-дисплеи	10–30%
	ЖК-дисплеи для рекламы и торговли	40–75%
	Сенсорные экраны	10–15%
Питание	Адаптеры напряжения	10–20%
	Блоки питания ПК	10–15%
Вентиляторы	Вентиляторы для ПК и блоков питания	10–15%
	Вентиляторы для микроконтроллеров	20–30%
Холодильные агрегаты	Микрохолодильники	10–15%

Относительный рост цен на электронные компоненты за период 2020–2021 гг. показан в табл. 1 [25].

В исключительных случаях цена на некоторые электронные компоненты увеличилась на 200% [26].

Как пример неконтролируемого роста, Sensors Converge приводит микросхему, которая в 2018 году стоила 7 долларов, а в 2021 году за неё просят уже 230 долларов США [27]. О повышении цен на свою продукцию объявили практически все ведущие производители ПЭК [28, 29, 30].

Вопреки первоначальным прогнозам и ожиданиям мировая автомобильная промышленность не восстановилась до прогнозируемого уровня

в 2021 году. По-прежнему дефицитными оставались многие позиции автомобильных ПЭК.

Ведущие мировые автопроизводители, такие, например, как Ford Motor, General Motors, Nissan, Volkswagen, Fiat, BMW, Daimler и другие, предупредили своих акционеров о значительном сокращении доходов в 2021 году из-за нехватки чипов [31...35].

Руководители ведущих автопроизводителей осенью 2021 на автосалоне IAA в Мюнхене в своих высказываниях были солидарны в том, что проблеме с выходом отрасли на нормальный режим работы удастся решить не раньше 2023 года (рис. 3) [36].

Как переживают пандемию COVID-19 контрактные производители полупроводниковых электронных компонентов

Полупроводниковая промышленность, переживающая пандемию COVID-19 много лучше, чем автомобильная, получила в 2020 году выручку от реализованной продукции в среднем по отрасли на 6,5% больше, чем в 2019 году. По промежуточным итогам за IV квартал 2021 г. большинство ведущих производителей ПЭК увеличили свою прибыль по сравнению с аналогичным периодом 2020 года [37].

Всех производителей ПЭК можно разделить на четыре основные группы:

- фирмы «Semiconductor Contract Manufacturing Company» изготавливают продукцию по контрактам и патентам других фирм на собственных предприятиях. (Другое название – «Pure-Play Foundry Business».) Основные представители: TSMC, GlobalFoundries и UMC;
- фирмы «Chip Designers Fabless Companies» (FLC), которые разрабатывают и патентуют технологии, а также другие элементы интеллектуальной собственности, необходимые для организации массового производства на сторонних предприятиях, но не имеют собственных производственных мощностей. Эти фирмы изготавливают ПЭК на контрактных заводах. Ведущие мировые концерны этой группы: Qualcomm, Nvidia, AMD, Broadcom, NXP;
- фирмы «Silicon Wafers Manufacturer» производят только сами кремниевые подложки для полупроводников. Например, Sumco, Shin-Etsu Chemical, MEMC Electronic Materials, Soitec;
- фирмы «Integrated Device Manufacturers» (IDM) разрабатывают собственную полупроводниковую продукцию и изготавливают её на своих предприятиях. Мировые лидеры этой группы – Samsung, Intel, Texas Instruments.

Эта схема не является строгой, поскольку существуют фирмы, использующие несколько различных направлений деятельности.

На сегодняшний день в мире лидируют три крупнейшие фирмы, контролирующее мировое контрактное производство современных процессоров, программируемых логических интегральных схем ПЛИС (PLD), систем на кристалле (SoC) и других сложных полупроводниковых электронных компонентов (SEC):



Рис. 4. Торговая марка концерна Taiwan Semiconductor Manufacturing Company [38]

- Taiwan Semiconductor Manufacturing Co (TSMC – 12,9 млрд USD, Q1 2021);
- United Microelectronics Corporation (UMC – 1,6 млрд USD, Q1 2021);
- Global Foundries Inc (GFS – 1,5 млрд USD, Q1 2021).

В приведённом перечне в скобках указаны доходы (revenue) от основной деятельности фирм за I квартал 2021 г.

Вообще говоря, вторым в мире по объёмам выпускаемой продукции является производственный концерн Samsung, который работает в основном «сам на себя». Иными словами, сам проектирует и сам изготавливает компоненты на своих собственных заводах. Доходы от основной деятельности Samsung за I квартал 2021 г. составили 4,08 млрд долл. США. Во второй части этой статьи Samsung отнесён к другой группе универсальных производителей – IDM.

Концерн Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (рис. 4), основанный в 1987 году правительством Китайской Республики Тайвань, на сегодняшний день является безоговорочным лидером производства микропроцессоров, ПЛИС и ПЭК.

Штаб-квартира TSMC находится в г. Синьчжу (Тайвань). По данным на 2019 год, в филиалах и офисах, расположенных на Тайване, в Китае, Индии, Японии, Южной Корее, Нидерландах и США, работают около 50 тысяч человек.

Непосредственно на Тайване расположены четыре завода с технологией 12 дюймов, четыре 8-дюймовых завода, один 6-дюймовый завод. Кроме того, TSMC полностью контролирует на Тайване три завода Nanjing Company, Ltd, а также заводы WaferTech в США и завод TSMC China Company, Ltd. в КНР.

На рис. 5 показаны относительные доли объёмов доходов от продаж в

I квартале 2021 г. ведущих мировых производителей сложных полупроводниковых компонентов.

На долю тайваньской фирмы TSMC приходится больше половины общемирового производства современных микросхем. По результатам III квартала 2021 г. доход (revenue) TSMC составил 14,88 млрд долл. США [39].

На рис. 6 показано распределение объёмов производства TSMC по технологиям.

В I квартале 2021 г. на технологии 7 и 5 нм вместе приходилось почти 50% доходов компании. На продукцию 7 нм приходится примерно 35% всей выручки, а на 5 нм – около 14%. Эти данные указывают на то, что у TSMC снизились заказы на микросхемы с 5 нм и увеличились заказы для приложений, где преобладают технологии 7 нм. Как следствие, выросли за последние три квартала также сроки поставок на микросхемы 7 нм. Целесообразно подчеркнуть, что инновационные чипы должны быть разработаны исключительно с использованием технологий самых последних поколений – 3 и 5 нм. Примером тому может служить последняя разработка MediaTek и TSMC, представленная в декабре 2021 года. Первая в мире система на кристалле (SoC) цифрового ТВ 8K, MediaTek Pentonic 2000, изготовлена на заводе TSMC с использованием технологии 7 нм. Новая SoC MediaTek Pentonic 2000 обеспечивает наилучшие на сегодняшний день параметры производительности и энергоэффективности, а также является идеальным решением для таких приложений, как разветвлённые системы искусственного интеллекта, встраиваемые микросенсоры для определения мгновенного перемещения; универсальные видеокодеры

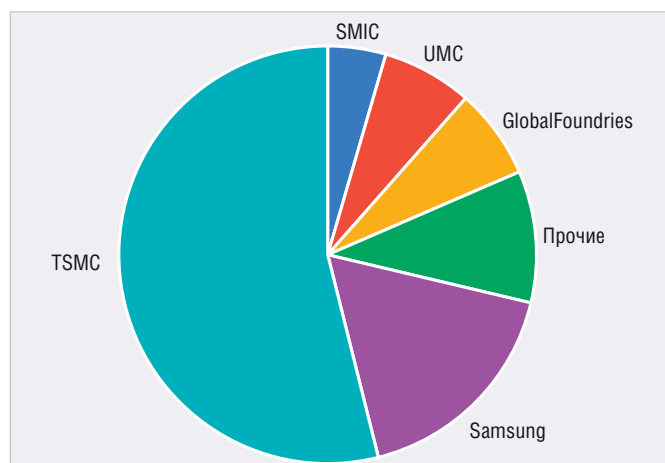


Рис. 5. Относительные доли объёмов доходов от продаж в IV квартале 2020 г. ведущих мировых производителей полупроводниковых микросхем [37]

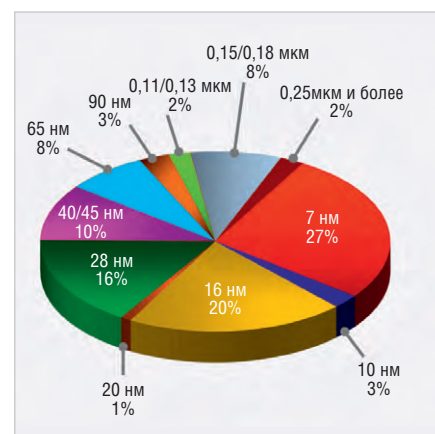


Рис. 6. Распределение объёмов производства TSMC по технологиям [40]

для технологии «картинка в картинке» (PiP) и другие аналогичные [41].

Для упаковки (package) кристаллов TSMC использует как традиционные методы, так и новые технологии 3DFabric, которые позволяют интегрировать вычислительные ядра с разнородными мини-чипами в более плотных конфигурациях многоядных конструкций 2D, 2.5D или 3D [42]. В новых технологиях типа InFO-PoP (упаковка на упаковке) и InFO-oS (сборка InFO на подложке) применяется кристалл на носителе, который впоследствии монтируется в восстановленную пластину из формовочного компаунда. После этого на пластине монтируются соединительные и выводные магистрали.

Упаковки TSMC, такие как CoWoS, обычно используются в сочетании с 7 нм или 16 нм технологиями, в то время как InFO-oS в основном предназначены для 5 нм.

Структура технологии корпусирования CoWoS – Multi-Die показана на рис. 7.

На сегодняшний день чипы по технологии 5 нм изготавливают только TSMC и Samsung.

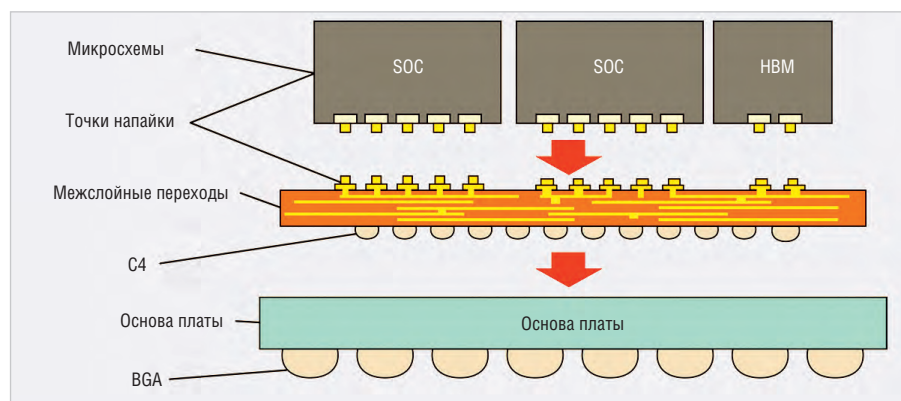


Рис. 7. Структура технологии корпусирования CoWoS – Multi-Die, используемая на линиях TSMC 7 нм [42]

В начале ноября 2021 г. TSMC приступила к тестовому производству чипов с технологией 3 нм (3 nm N3 node). Серийное производство запланировано на IV квартал 2022 г. По предварительным данным, заявки на заказы чипов 3 нм разместили Apple, Intel, AMD и Qualcomm [43].

В отличие от 3 нм технологии Samsung, в которой используются транзисторные структуры GAA (gate-all-around), TSMC использует транзисторы FinFET.

По сравнению с линией N5 (5 нм), оборудование N3 позволит увеличить производительность микросхем на 10...15% при тех же уровнях мощности. Кроме того, технология 3 нм позволит TSMC увеличить плотность компоновки элементов на пластине в 1,7 раза [44].

В табл. 2, подготовленной с использованием данных статьи [45], приведены данные о закупках продукции TSMC через прямых заказчиков TSMC.

В качестве прямых заказчиков в табл. 2 указаны восемь наиболее крупных фирм, составляющих основное ядро покупателей TSMC по четырём приоритетным направлениям: «IoT и бытовое оборудование», «Телекоммуникации и связь», «Компьютеры и сопутствующее оборудование», «Автомобильная электроника». Для основных прямых покупателей в табл. 2 для I квартала 2021 г. указаны: доля их заказов в

процентах от общего дохода TSMC за этот период (revenue); сумма заказов в миллионах долларов США, истраченная на продукцию TSMC; процентная доля закупленных компонентов TSMC от расходов фирмы (expenditure). Например, для Qualcomm эти цифры соответственно равны 4,16%, 537 млн долл. США, 15,4%. Таким образом, для Qualcomm в I квартале 2021 г. суммарные затраты на компоненты составляли около 3,5 млрд долл. США, из которых 537 млн было истрачено на изготовление сложных ПЭК на заводах TSMC. При этом общий доход TSMC в I квартале 2021 г. составил примерно 12,9 млрд долл. США.

В начале 2020 года только 3% от всего объёма выпускаемой TSMC продукции составляли ПЭК для автомобильной промышленности. Основная часть продукции TSMC предназначена для производителей смартфонов (51%), компьютерной индустрии (31%) и IoT (<10%). Поэтому отказ от заказов на автомобильные ПЭК незначительно повлиял на доходы фирмы на первом этапе кризиса. Ограниченные производственные мощности и недостаточное количество сырья не позволили TSMC в разгар кризиса полностью удовлетворить спрос на комплектующие для компьютеров, смартфонов, дата-центров и других областей телеиндустрии. Генеральный директор Qualcomm Криштиану Амон (Cristiano Amon) в интервью

агентству Bloomberg подчеркнул, что, несмотря на экстраординарные меры, реализованные фирмой для преодоления кризисной ситуации, устранение дефицита и сокращение сроков поставок можно будет наблюдать не раньше I квартала 2022 г. [46].

Данные табл. 2 позволяют понять объёмы продаж TSMC основным своим заказчикам: крупнейшим мировым производителям современных активных электронных компонентов.

В табл. 3 приведены аналогичные данные для «опосредованных заказчиков» TSMC. В качестве опосредованных заказчиков TSMC взяты в качестве примера наиболее значимые покупатели прямых клиентов TSMC. Например, прямой клиент TSMC концерн Qualcomm поставляет компоненты другим опосредованным заказчикам: Apple, Samsung, Xiaomi, LG, HP, Asustek Computer и другим.

Следует особо подчеркнуть, что в табл. 3 показаны данные не абсолютных лидеров рынка по отдельным отраслям электроники, а приведены только цепочки, в которых главным поставщиком является TSMC.

Несмотря на то что Broadcom [47] и AMD [48] являются крупнейшими поставщиками ПЭК для автомобильной электроники, данные по этим фирмам в табл. 3 не выделены в отдельную категорию. Вероятно, эти данные в оценках [45] попали в разделы субподрядчиков, с которыми Broadcom и AMD имеют тесные партнёрские отношения. Среди этих фирм, поставляющих продукцию для автомобильной индустрии, можно назвать, например, такие как LG, закупившая у Broadcom в I квартале 2021 г. комплектующие для бытовой электроники на сумму более 40 млн долл. США, а также Sony, которая приобрела в этот период товаров данной категории у AMD на сумму более 260 млн долл. США.

Для опосредованных заказчиков в табл. 3 также приведены данные доли их закупок в процентном отношении к доходу прямого заказчика TSMC, сум-

Таблица 2

Прямые заказчики TSMC							
Проценты от оборота TSMC, сумма затрат, процент от бюджета фирмы-заказчика, I квартал 2021 г.							
*4,16% **537 млн Qualcomm ***15,4%	3,9% 498 млн Broadcom 17,9%	3,8% 479 млн Nvidia 26,1%	3,4% 430 млн AMD 24%	2,4% 299 млн Texas Instruments 20,9%	1,9% 235 млн STMicro-electronics 11,9%	1,8% 230 млн NXP 18,9%	1,4% 181 млн Renesas 19,7%

Примечания к таблице 2:

* – процент закупки прямого заказчика микросхем, изготовленных на заводах TSMC от общих объёмов продаж (revenue) TSMC за I квартал 2021 г.;

** – сумма закупки у TSMC его прямого заказчика за I квартал 2021 г.;

*** – доля закупок заказчика от общих объёмов его собственных продаж за I квартал 2021 г.

Таблица 3

Опосредованные заказчики TSMC							
Приложения «Телекоммуникации и связь»; % от оборота прямого заказчика TSMC, сумма затрат, % бюджета, I квартал 2021 г.							
Qualcomm	Broadcom	Nvidia	AMD	Texas Instruments	STMicro-electronics	NXP	Renesas
11,3% ***572 млн *Apple *****1%	25% 1700 млн Apple 2,5%	1,4% 55 млн Cisco 1,2 %	2,2% 71 млн Samsung 0,2%	9,4% 383 млн Apple 0,6%	23,9% 611 млн Apple 1,4%	9,4% 235 млн Apple 0,4%	1,3% 23 млн Apple 0,1%
10,2% 517 млн Samsung 1,5%	2,2% 149 млн Samsung 0,4%	0,8% 30 млн Samsung 0,1%	1,3% 43 млн Apple 0,1%	1,5% 57 млн Samsung 0,2%	4,4% 143 млн Samsung 0,4%	2,9% 72 млн Samsung 0,2%	1,4% 22 млн Samsung 0,1%
10% 509 млн Xiaomi 8,3%	0,7% 48 млн Nokia 1%	0,1% 4 млн Orange 0,04%	0,8% 26 млн Cisco 0,6 %	0,1% 3 млн Cisco 0,1 %	0,4% 13 млн Xiaomi 0,2 %	2,5% 63 млн Ericsson Telef. 1,3%	0,6% 10 млн Xiaomi 0,2 %
Приложения «Компьютеры разные»; % от оборота прямого заказчика TSMC, сумма затрат, % бюджета, I квартал 2021 г.							
Qualcomm	Broadcom	Nvidia	AMD	Texas Instruments	STMicro-electronics	NXP	Renesas
2,5% 126 млн HP 1,0%	0,3% 21млн Hewlett Packard Int 0,5%	11,0% 459 млн Dell 2,8%	5,1% 166 млн HP 1,3%	1,2% 47 млн HP 0,4%	3,0% 96 млн HP 0,8%	0,3% 6 млн Asustek Computer 0,2%	НД
1,1% 55 млн Asustek Computer 2,2%	0,3% 16 млн Asustek Computer 0,5%	4,4% 169 млн Lenovo 1,5%	3,7% 121 млн Dell 0,8%	0,2% 8 млн Hewlett Packard Int 0,2%	1,1% 35 млн Seagate Technology 1,8%	НД	НД
0,8% 40 млн Acer 2,3%	0,2% 12 млн Seagate Technology 0,6%	3,1% 119 млн HP 1,0%	3,2% 102 млн Lenovo 0,7%		0,3% 9 млн Western Digital 0,3%	НД	НД
Приложения «Потребительская электроника»; % от оборота прямого заказчика TSMC, сумма затрат, % бюджета, I квартал 2021 г.							
Qualcomm	Broadcom	Nvidia	AMD	Texas Instruments	STMicro-electronics	NXP	Renesas
1,1% 71 млн LG 0,7%	0,5% 35 млн LG-Inotek 1,2%	4,8% 187 млн Nintendo 9,3 %	8,0% 261 млн Sony 1,4%	0,4% 14 млн Wuhan P&S 3,6%	1,1% 35 млн Nintendo 2,2 %	1,7% 143 млн LG 0,4%	2,2% 38 млн Satori Electric 16,9%
0,7% 36 млн LG-Inotek 2,5%	0,2% 11 млн LG 0,1%	4,6% 133 млн Gigabyte Technology 31,5%	0,4% 12 млн LG 0,1%	0,3% 12 млн Shinko Shoji 6,2%	0,6% 20 млн Sony 0,1%	0,8% 21 млн Panasonic 0,2%	2,1% 36 млн Shinko Shoji 18,7%
0,7% 35 млн Panasonic 0,3%	0,1% 5 млн Zhen Ding 0,6%	0,4% 15 млн LG 0,2%	0,02% 0,7 млн Maxell 0,3%	0,03% 1 млн Nissinbo 0,2%	0,4% 11 млн LG 0,1%	0,1% 2 млн Kinpo Electronics 0,2%	1,3% 22 млн Alpis Alpine 1,7%
Приложения «Автомобильная электроника»; % от оборота прямого заказчика TSMC, сумма затрат, % бюджета, I квартал 2021 г.							
Qualcomm	Broadcom	Nvidia	AMD	Texas Instruments	STMicro-electronics	NXP	Renesas
1,2% 61 млн Denso 0,6%	НД	0,4% 16 млн Robert Bosh 0,1 %	НД	5,1% 171 млн Magna Int 2%	3,7% 118 млн Robert Bosh 0,8%	9,6% 241 млн Continental 2,7%	6,6% 111 млн Toyota 0,2%
0,9% 48 млн Continental 0,5%	НД	0,2% 8 млн Denso 0,1%	НД	0,3% 13 млн F-Tech 3,9%	3,3% 107 млн Tesla 1,2%	3,0% 76 млн Robert Bosh 0,5%	2,2% 37 млн Volkswagen 0,1%
0,7% 35 млн Hyundai 0,5%	НД	0,1% 4 млн Aptiv 0,2%	НД	0,03% 1 млн Nissinbo 0,2%	2,3% 75 млн Continental 0,8%	3% 76 млн Aptiv 2,2%	1,9% 31 млн Nissan 0,2%

Примечания к таблице 3:

* – поставщик;

** – доля закупок заказчика от общих объемов продаж поставщика за I квартал 2021 г.;

*** – сумма заказа в миллионах долларов США за I квартал 2021 г.;

**** – заказчик;

***** – процент закупки от общих затрат заказчика по этой статье за I квартал 2021 г.

ма заказов комплектующих для конкретного направления, проценты этих закупок в суммарных затратах фирмы (expenditure). Например, в I квартале 2021 г. фирма Apple закупила у Qualcomm ПЭК только для приложений «Телекоммуникации и связь» комплектующих на сумму 572 млн долл. США, что составляет 11,3% от дохода (revenue)

Qualcomm за этот период. Следовательно можно оценить доход Qualcomm в I квартале примерно равным 5 млрд долл. США. Таким образом, данные табл. 2 и 3 позволяют оценивать масштабы деятельности ведущих мировых производителей электронных компонентов. Следует особо подчеркнуть, что данные, приведённые в табл. 2 и 3, получены по

материалам предварительных обзоров Bloomberg [49]. Эти данные носят в основном иллюстративный характер и не могут быть использованы для точных аналитических исследований финансовой деятельности указанных фирм. Для получения более точных значений рекомендуется воспользоваться, например, сервисом Refinitiv [50].



Рис. 8. Логотип тайваньской фирмы United Microelectronics Corporation



Рис. 9. Фирма USJC завершила установку солнечных панелей на крышах завода Mie Plant и начала выпуск продукции в октябре 2020 года [60]

В табл. 3 приведены данные только о наиболее значимых прямых и опосредованных клиентах TSMC. На самом деле заказчиков TSMC значительно больше.

Согласно оценкам Bloomberg, около четверти всех доходов TSMC за I квартал 2021 г. пришлось на заказы от Apple. Используя ресурсы Broadcom, Qualcomm, Nvidia, AMD, Texas Instruments, STMicroelectronics, NXP, Renesas, американский концерн Apple изготавливает необходимые микросхемы на заводах TSMC.

В состав iPhone от Apple входят вспомогательные радиочастотные чипы Broadcom для систем беспроводной связи Wi-Fi, Bluetooth, LTE. Базовые системы на кристалле для систем беспроводной связи Apple получает от Qualcomm.

В ближайшем будущем Apple планирует выпускать собственные чипы 5G, которые разработало бывшее подразделение Intel (Infineon), приобретённое Apple в 2019 году. Между Qualcomm и Apple M1 отношения достаточно сложные. Конфликт связан с тем, что трое ведущих разработчиков покинули Apple в 2019 году и создали свою собственную новую фирму по производству чипов Nuvia. В начале 2021 года эту фирму Qualcomm купила за 1,4 млрд долл. США.

Существует опасение, что новый процессорный чип Qualcomm не только воплотит в себе последние инновационные решения, но и превзойдёт гото-

вящийся к производству процессор Apple M1 [51]. На 2021 год фирма Apple разместила у TSMC заказы на чипы A14 и A15, которые будут изготавливаться на основе технологий 5 нм и 4 нм. Чипы A14 будут производить по технологии 5 нм на новом заводе, который TSMC строит сейчас в Финиксе, штат Аризона, США [52].

В октябре фирма Broadcom сообщила о заключении нового контракта поставок комплектующих с Apple на сумму 15 млрд долл. США до середины 2023 года.

В 2022 году планируется начать производство новейшего чипа Apple A16 на одном из заводов TSMC по технологии 3 нм с использованием архитектуры с транзисторами FinFET [53].

В октябре TSMC сообщила о рекордной чистой прибыли (net profit) за III квартал 2021 г., равной 5,56 млрд долл. США [54].

Несмотря на финансовые успехи, фирма TSMC предупредила своих клиентов о том, что в конце 2021 и в I квартале 2022 г. могут возникнуть ограничения на поставку некоторых категорий микросборок на кристалле. Поэтому не исключено небольшое увеличение цен на продукцию, которое позволит оперативно решить часть проблем с дефицитом за счёт снижения спроса. С другой стороны, повышение цен поможет аккумулировать средства, необходимые для расширения производственных мощностей, включая создание нового производственного центра в Аризоне США [55].

Кроме того, TSMC планирует построить собственный завод микропроцессоров в Японии [56].

Нужно отметить ещё один важный момент, который, в принципе, может внести определённые изменения в структуру мирового производства полупроводниковых электронных компонентов. Попытки Китая развивать свою собственную передовую индустрию производства чипов и торговая война за лидерство в этой области с США являются одной из причин крайне жёсткой и агрессивной политики, проводимой КНР по отношению к Тайваню [57].

Тайваньский концерн United Microelectronics Corporation – UMC по итогам 2021 года занял второе место по объёму доходов среди контрактных производителей ПЭК, которые только производят продукцию по заказам фирм-разработчиков. Логотип фирмы показан на рис. 8 [58].

В III квартале 2021 г. доход UMC составил 2,01 млрд долл. США [59].

Фирма UMC была основана в 1980 году на базе государственной компании Industrial Technology Research Institute. В настоящее время UMC имеет в общей сложности 12 заводов с общей производительностью около 800 000 пластин в месяц. Основная часть производственных мощностей UMC расположена в Тайване в городах Синьчжу и Тайнань. Заводы на Тайване серийно производят ПЭК с 2002 года.

Два современных завода находятся в Сингапуре. Заводы 8N (HeJian) и 12X (USCXM) работают в Китае. Завод 12M (USJC) находится в Японии. Штаб-квартира UMC находится в Синьчжу (Тайвань). Локальные офисы расположены во многих странах: США, ЕС, Китае, Японии, Корее и Сингапуре. Общее количество сотрудников UMC по всему миру превышает 20 тыс. человек.

Завод «Fab 12A» в Тайнане в настоящее время производит ПЭК, используя полный цикл технологий 14 и 28 нм и 300 мм пластины. Общая производственная мощность Fab 12A в настоящее время составляет более 87 000 пластин в месяц. Второй 300 мм завод UMC Fab 12i, расположенный в сингапурском Pasir Ris Wafer, серийно выпускает 50 000 пластин в месяц на базе 300-миллиметровых линий второго поколения. Третий 300-миллиметровый завод UMC, United Semi, расположен в китайском городе Сямынь и сейчас также работает с производительностью 50 тысяч пластин в месяц. В октябре 2019 года концерн UMC приобрёл завод USJC (Mie Plant) в Японии. Этот завод, расположенный в префектуре японской провинции Миэ, может производить до 33 тысяч 300 мм пластин в месяц по технологии 40 нм (рис. 9).

Распределённые практически равномерно по всей Азии производственные мощности UMC гарантируют бесперебойное обслуживание клиентов этого региона с поставками в точно назначенные сроки. Новые заводы UMC оснащены современными системами автоматизации, включающими универсальные блоки с передним открыванием (FOUP), автоматизированные системы погрузочно-разгрузочных работ (АМН) и подвесные рельсовые транспортные средства (RGV). Все заводы отвечают строгим требованиям международных стандартов [60].

На своих контрактных предприятиях UMC производит ПЭК для многих приложений современной электроники, уделяя особое внимание системам беспроводной связи 5G, IoT, автомобильной электронике, медицинской техни-

ке. Линейка продукции, выпускаемой UMS, включает такие компоненты, как мобильные процессоры, графические процессоры, чипы Wi-Fi и Bluetooth, различные датчики и специальные автомобильные чипы, логические микросхемы, ПЭК для систем электропитания, драйверы дисплеев, энергонезависимые запоминающие устройства, RFSOI, BCD, SRAM. Среди многочисленных клиентов UMC наибольшие доли заказов приходятся на ведущих мировых разработчиков ПЭК: Qualcomm, AMD, MediaTek, Novatek, Realtek, Infineon, Rockchip, Allwinner Technology, Applied Materials, Lam Research.

Кроме традиционных UMS работает также с новыми направлениями вроде систем для преобразователей солнечной энергии.

В начале 2017 года UMC начал выпускать на заводе Fab 12A в Тайване микросхемы на базе FinFET с использованием технологии 14 нм, которая включает такие современные элементы, как Fin module, High-k/Metal Gate stack, Low-k spacer, MoL, BEOL.

Технология 22 нм используется для производства популярных микросхем с низким энергопотреблением. В основном на базе этой технологии на заводах UMC выпускаются ПЭК для цифровых телевизоров, мониторов, беспроводных систем Bluetooth/Wi-Fi и других аналогичных приложений. Одной из наиболее популярных позиций, которые выпускаются на заводах UMC, являются драйверы панелей AMOLED с матрицами, составленными из органических светодиодов – OLED.

По оценкам аналитиков, такими панелями в ближайшие годы будет оснащено большинство смартфонов ведущих мировых производителей (рис. 10).

В настоящее время массово выпускать микросхемы драйверов AMOLED могут только Samsung, UMC и GlobalFoundries.

Производственные линии UMC позволяют выпускать некоторые типы микросхем как по технологии 22 нм, так и по технологии 28 нм (28 nm HKMG). В условиях острого дефицита комплектующих в 2020–2021 гг. концерн UMC увеличил выпуск продукции, полностью задействовав все ранее законсервированные линии. Тем самым была увеличена производительность линий 28 нм. Так, например, на заводе в Тайване выпуск продукции был доведен до 20 тысяч пластин в месяц [61].

Таким образом, удалось несколько уменьшить сроки поставки традиционной, широко используемой 28 нм

памяти SRAM (poly/oxynitride – H-K metal gate).

Поскольку всё ещё пользуются популярностью многие модели бытовой электроники, разработанные в начале 2000-х, у UMC остаются постоянные клиенты, которые заказывают простые ПЭК на базе технологий 40 нм, 55 нм, 65 нм и даже 90 нм. В частности, такие комплектующие в настоящее время с успехом применяются в недорогих автомобилях массового спроса. Также полупроводниковые компоненты с небольшой степенью интеграции на кристалле используются в дешёвой китайской бытовой электронике в простых системах управления питанием, драйверах дисплеев, кухонном оборудовании и т.д. Поэтому продажи UMC в этом сегменте рынка заметно выросли в период кризиса 2020–2021 годов [62].

В начале 2020 года, когда ведущие автомобильные производители начали массово менять свои заказы на ПЭК, концерн UMC совместно с Sensirion наладил производство комплектующих для медицинского оборудования, крайне необходимого для борьбы с COVID-19. В кратчайшие сроки были запущены линии, на которых начали выпускать микросхемы для температурных датчиков, предназначенных для контейнеров, в которых перевозилась вакцина против коронавируса. Также был организован выпуск ПЭК для датчиков потока, используемых в ИВЛ (рис. 11).

В качестве ещё одного значимого события можно упомянуть договор об обмене акциями между UMC и Chipbond. Согласно этому договору Chipbond передаст концерну UMC 67 152 322 свои новые обыкновенные акции в обмен на 61 107 841 новую обыкновенную акцию, выпущенную UMC, и 16 078 737 обыкновенных акций UMC, принадлежащих её дочернему предприятию Fortune Venture Capital. Коэффициент обмена акций составляет одну акцию UMC к 0,87 акции Chipbond. Таким образом, после завершения сделки по обмену акциями UMC и её дочерняя компания Fortune Venture Capital будут совместно владеть примерно 9,09% капитала Chipbond, а Chipbond будет владеть примерно 0,62% капитала UMC [64].

Фирма Chipbond Technology Corporation является одним из ведущих мировых производителей драйверов ЖК-дисплеев. Сотрудничество с Chipbond позволит концерну UMC не только улучшить своё финансовое положение, но также будет способство-



Рис. 10. По оценкам аналитиков, в ближайшие годы панелями AMOLED с матрицами, составленными из органических светодиодов OLED, будет оснащено большинство смартфонов ведущих мировых производителей [61]



Рис. 11. Расходомер Sensirion SFM3003 для измерения потока кислорода в ИВЛ [63]

вать развитию новых микросхем. Среди перспективных направлений, предусмотренных в совместных исследованиях UMC и Chipbond, можно выделить такие как масштабирование микросхем на уровне полупроводниковых пластин (WLCSP) с использованием технологии разветвлённой FOSiP и системы с перевёрнутым кристаллом FCSiP, модернизация структур управления питанием на основе нитрида галлия (GaN) и арсенида галлия (GaAs), карбида кремния (SiC) [64].

Кроме перечисленных мероприятий для выхода из состояния кризиса концерн UMC использовал ещё одно очень действенное средство. Концерн UMC заключил контракты, согласно которым некоторые из его крупнейших заказчиков разместили заказы на два года вперёд по фиксированным расценкам и внесли авансовые платежи на общую сумму около 2,3 млрд долл. США. Однако эта сделка таит в себе ряд опасностей. Если кризис и дефицит производства ПЭК затянутся ещё на 1-2 года, то мировые цены на комплектующие будут расти, и UMC вынужден будет продавать свою продукцию по убыточным фиксированным расценкам. Кроме того, 2,3 млрд инвестированных долларов примерно соответствуют квартальному обороту фирмы. Это значит, что если UMC не сможет в следующие годы значительно увеличить свои доходы, то ему каким-то образом нужно будет покрывать эти авансовые платежи.



Рис. 12. Micron обвинил тайваньский концерн UMC в краже интеллектуальной собственности [66]

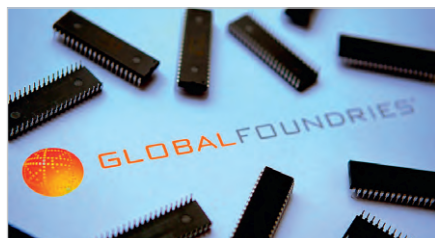


Рис. 13. Торговая марка GlobalFoundries

Тем не менее в результате предпринятых действий в IV квартале 2020 г. доходы UMC увеличились на 8,2% по сравнению с аналогичным периодом 2019 года и составили 1,59 млрд долл. США [65].

В конце ноября 2021 года United Microelectronics Corp и Micron Technology Inc урегулировали разногласия по гражданскому иску, в котором крупнейший американский производитель микросхем памяти Micron обвинил тайваньский концерн UMC в краже интеллектуальной собственности и передаче этой информации китайской фирме (рис. 12).

Нужно подчеркнуть, что Micron, Samsung и Hynix в совокупности контролируют около 90% производства динамической памяти DRAM [67].

Эта история является лишь одним из эпизодов торговой войны, которую США ведёт против фирм КНР, незаконно использующих в своей продукции интеллектуальную собственность, похищенную у американских компаний.

В мае 2016 года UMC объявила о начале технологического партнёрского проекта с Fujian Jinhua, в рамках которого должна была быть разработана специальная конструкция и технология производства DRAM. Руководителем проекта был назначен Чен Чжэнкунь (Chen Zhengkun), который нанял для работ по этому проекту сотрудников тайваньского филиала Micron. В результате нехитрых операций конфиденциальная информация о конструкции одной из моделей DRAM памяти Micron была передана концерну UMC. Руководитель проекта Чен Чжэнкунь стал президентом Fujian Jinhua и возглавил предприятие по производству памяти DRAM.

Таблица 4

Название	Подложка	Расположение	Максимальная производительность, шт/мес, 300 мм	Технология, нм
Fab 1	300 мм	Германия	80 000	55, 45, 40, 32, 28, 22, 12
Fab 7	300 мм	Сингапур	50 000	130...40
Fab 8	300 мм	Нью-Йорк, США	60 000	28, 20, 14
Fab 2	200 мм	Сингапур	НД	600...350
Fab 3/5	200 мм	Сингапур	НД	350...180
Fab 9	200 мм	Вермонт, США	НД	350...90

В сентябре 2018 года Федеральное жюри присяжных США (A Federal Grand Jury) предъявило концерну UMC и государственному предприятию KHP Fujian Jinhua (далее по тексту – Fujian Jinhua), а также трём физическим лицам обвинение в сговоре с целью кражи, хранения и последующей передачи фирме Fujian Jinhua украденной коммерческой тайны у американской компании (Micron Technology, Inc) [68].

При этом тайваньской и китайской компаниям грозил штраф в размере более 20 млрд долл. США.

Завод Fujian Jinhua стоимостью 5,6 млрд долл. США в китайском городе Цзиньцзян, финансируемый правительством КНР, должен был начать производство памяти DRAM в 2019 году. Однако правительство Соединенных Штатов через министерство торговли запретило всем фирмам США любые экспортные операции с китайской компанией Fujian Jinhua Integrated Circuits Ltd. Поэтому проект по производству DRAM на заводе Fujian Jinhua был приостановлен [69].

В октябре 2020 года концерн UMC пообещал оказать «существенную помощь» правительству США в этом деле и официально признал себя виновным в суде Сан-Франциско. Прокурор согласился снять с UMC наиболее серьёзные обвинения в экономическом шпионаже и заговоре против американской компании Micron Technology Inc. Со своей стороны, концерн UMC признал себя виновным в краже коммерческой тайны и согласился выплатить штраф в размере 60 млн долл. США [69...71].

Согласно совместному заявлению сторон, опубликованному в конце ноября 2021 года, UMC выплатит компенсацию, необходимую для урегулирования всех претензий между компаниями и их филиалами по всему миру. Размер компенсации не раскрывается [72]. Учитывая предстоящее погашение авансовых платежей и выплаты по иску Micron, можно ожидать, что следующие годы не будут для UMC столь безоблачными.

Американский концерн GlobalFoundries (GFS) по объёмам реализованной продукции в III квартале 2021 г. занял третье место в мире среди «чистых» контрактных производителей ПЭК. Этот концерн находится в частной собственности, принадлежащей двум акционерам: AMD и фонду Mubadala [73]. Торговая марка GlobalFoundries показана на рис. 13.

В 2008–2012 годах государственный суверенный фонд Абу-Даби Mubadala финансировал продажу заводов AMD фирме GlobalFoundries. Затем Mubadala заплатила 1,8 млрд долл. США за заводы Chartered Semiconductor в Сингапуре. Этот бизнес был объединён с GlobalFoundries. Следующим приобретением стал бизнес IBM по производству микросхем.

Производственные мощности GlobalFoundries размещены в Америке, Азии и Европе. Характеристики заводов GlobalFoundries приведены в табл. 4.

Основной доход, примерно 70%, приносят заводы, расположенные в США. Европейские заводы дают около 10% дохода. Остальные доходы GFS получает из Сингапура.

Производственные линии GlobalFoundries имеют лицензию федерального правительства США «Trusted Foundry», которая даёт фирме возможность размещать на своих заводах Fab 9 и Fab 10 заказы министерства обороны. Следует отметить, что завод Fab 10 в Ист-Фишбилле находится в процессе продажи фирме ON Semiconductor.

В октябре 2021 года GlobalFoundries объявила о долгосрочном стратегическом партнёрстве с Министерством обороны США (DOD) по производству чипов на заводе Fab 8 в штате Нью-Йорк. Это означает, что Fab 8, самое передовое производство GF, сможет производить чипы с жёстким экспортным контролем. После того как Fab 10 будет аккредитован, он сможет присоединиться к списку предприятий США Trusted Foundry, которые могут гарантировать соответствующее качество и конфиденциальность сделки во время производства (рис. 14).

В своих маркетинговых материалах GlobalFoundries подчёркивает, что основные направления его деятельности связаны с узкоспециализированными областями электронной промышленности. В отличие от TSMC, концерн GlobalFoundries не стремится развивать новые 7 нм, 5 нм и 3 нм технологии, считая приоритетными направления, связанные с масштабированием специализированных нишевых приложений на базе 12-, 14-, 22-, 40-нанометровых технологий. Среди таких направлений можно отметить трёхслойные подложки со структурой кремний-диэлектрик-кремний (Silicon on insulator – RF SOI); подложки на основе полностью обеднённого кремния на изоляторе (FD-SOI/FDX); многофункциональные КМОП-матрицы на основе (Bipolar-CMOS-DMOS); кремниевые германиевые транзисторы SiGe BiCMOS и GaN на Si; FinFET-транзисторы; устройства кремниевой фотоники (SiPh).

Такой подход позволяет удерживать ключевых клиентов, таких как AMD, Qualcomm, MediaTek, NXP, Qorvo, Cirrus Logic, Skyworks, Murata, Samsung, Broadcom и других. Например, большинство чипов NFC производится на заводах GlobalFoundries на технологической платформе многофункциональных КМОП-матриц.

Технология полностью обеднённого кремния на изоляторе FDX является оптимальным вариантом для микросхем, предназначенных для устройств со сверхнизким энергопотреблением (5G, автомобильная электроника, батарейные устройства IoT, спутниковая связь, ячейки памяти и др.). Транзисторы SiGe BiCMOS и GaN на Si широко используются в ПЛИС, предназначенных для усилителей мощности, высокочастотных устройств, оптических и беспроводных сетей, телекоммуникационных устройств. В 2021 году GlobalFoundries завершила модернизацию своего узла FDX-RF в технологической цепочке FD-SOI. Эта линия ориентирована на изготовление микросхем входных радиочастотных блоков микромощных беспроводных систем на кристалле миллиметрового диапазона. В ближайшем будущем GlobalFoundries планирует значительно расширить сотрудничество с Qualcomm в рамках создания интерфейсных радиочастотных (RF) решений для телефонов 5G и других аналогичных устройств, которые могут работать со скоростью более 1 Гбит/с и монтироваться в тонкие корпуса, которые потре-



Рис. 14. Завод GlobalFoundries Fab 8 имеет лицензию «Trusted Foundry» [74]

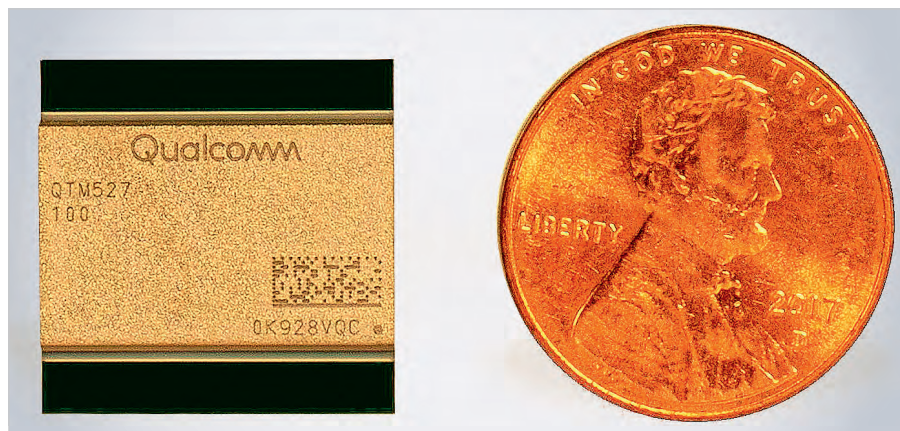


Рис. 15. GlobalFoundries расширит сотрудничество с Qualcomm в рамках создания интерфейсных радиочастотных (RF) решений для телефонов 5G [75]

бители привыкли ожидать от смартфонов 4G LTE (рис. 15).

Одним из наиболее перспективных направлений GlobalFoundries считает производство ПЛИС и ПЭК для оптической связи и LiDAR на базе кремниевой фотоники (Silicon Photonics). Эта технология позволяет создавать ПЛИС, содержащие на одном кристалле кремниевые электронные цепи, полупроводниковые лазеры и оптические элементы. Такие устройства позволяют в будущем отказаться от медных проводов в сложных электронных системах, предназначенных для гражданской и военной авиации. В этом плане можно отметить новую фирму Lightmatter, специализирующуюся в области кремниевой фотоники и искусственного интеллекта, которая использует GlobalFoundries для производства вычислительного ядра своей платформы. Эта платформа, представляющая собой единый интегрированный стек для поддержки фотонных и логических вычислений, позволила Lightmatter добиться многократного преимущества в таких важнейших параметрах процессов матричных вычислений, как пропускная способность, потребляемая мощность и задержки [76]

В контексте производства микросхем специального назначения для аэрокосмических и военных приложений можно отметить контракты GlobalFoundries с американским лидером в этой области: концерном Raytheon Technologies (рис. 16). В рамках совместных исследований разрабатываются новые полупроводниковые структуры с использованием нитрида галлия на кремнии (GaN-Si), предназначенные для новых приложений беспроводной связи 5G и 6G [77].

Концерн GlobalFoundries заметно пострадал на первом этапе кризиса, поскольку многие его заказчики были ориентированы на автомобильный рынок. Так, один из его крупнейших клиентов, фирма AMD, сократила объём своих заказов в 2020 году на 7% по сравнению с 2019 годом. Производственные мощности GlobalFoundries работали последние годы с очень низкой эффективностью. Коэффициент технического использования оборудования (utilization rate) в 2018, 2019, 2020 годах составлял соответственно 80%, 70%, 84%. Для сравнения можно взять данный параметр у TSMC и UMC, который был в 2020 году больше 95%.



Рис. 16. GlobalFoundries совместно с ведущим производителем электроники для аэрокосмических и военных приложений концерном Raytheon Technologies разрабатывает новые микросхемы для 5G и 6G

На втором этапе кризиса в 2021 году GlobalFoundries испытывал заметные задержки с поставками подложек для своих производственных линий с технологией SOI (кремний на изоляторе), поскольку в 2020–2021 годах заметно выросли сроки поставки у японских производителей подложек SOI.

Фирма GlobalFoundries вынуждена была увеличить закупки этой продукции у французской фирмы Soitec, которая является крупнейшим в мире поставщиком пластин FD-SOI, FD-SOI, FinFET-SOI (200...300 мм) [78].

Доля GlobalFoundries в заказах Soitec достигла в 2020 году 52% от общего объема заказов этой фирмы.

В это же время обострились взаимоотношения с двумя крупнейшими заказчиками IBM и AMD, которые отказались от услуг GlobalFoundries и разместили свои новые заказы на заводах TSMC и Samsung. Одновременно возобновились старинные споры и взаимные обвинения, в результате чего концерн IBM подготовил иск на 2,5 млрд долл. США. Выдвигаемые претензии были связаны с нарушением условий контракта с GlobalFoundries от 2015 года, когда компания приобрела у IBM подразделения микроэлектроники International Business Machines Corp, а также производственные мощности в Берлингтоне, Вирджиния, и Ист-Фишбилле, Нью-Йорк [79].

Два года пандемии, и проблемы на автомобильном рынке стали для GlobalFoundries источником серьезных финансовых проблем. Объем продаж составил в 2019 году 5,81 млрд долл.

США, а убытки – 1,37 млрд долл. США. В 2020 году ситуация стала ещё хуже: продажи 4,85 млрд долл. и убытки 1,35 млрд долл. США [80].

Не улучшилась ситуация и в 2021 году, когда разница между ценой и себестоимостью основного товара (margin) достигла отрицательных значений.

В качестве одного из средств выхода из кризиса фирма использует систему предварительных заказов. Так, например, GlobalFoundries, воспользовавшись нехваткой микросхем, заключила контракты на поставки в 2022–2023 годах и получила на эти цели около 10 млрд долларов авансовых платежей. Кроме того, в 2021 году сократилось финансирование новых уже ведущихся разработок [81, 82].

В 2019 и 2020 годах по результатам III квартала убытки GlobalFoundries составили соответственно 350 млн и 293 млн долл. США.

В сложившейся ситуации руководство GlobalFoundries объявило о продаже части активов. В 2019 году был инициирован процесс продажи фирме ON Semiconductor за 430 млн долл. США завода Fab 10 в Ист-Фишбилле, штат Нью-Йорк, США, который раньше был основным производством IBM Microelectronics. Сделка должна быть полностью завершена к концу 2022 года [83].

В начале октября 2021 года GlobalFoundries совместно с инвесторами инициировала процесс формирования IPO с последующим выходом на биржу NASDAQ в Нью-Йорке. Подготов-

кой и реализацией процесса IPO занимаются Morgan Stanley, Bank of America Corp, JPMorgan Chase & Co, Citigroup Inc, Credit Suisse Group AG. Ожидается, что акции GlobalFoundries начнут торговаться на Nasdaq под символом GFS в начале декабря 2021 г. При этом Mubadala должна будет контролировать более 89% акций GFS после завершения первичной публичной продажи акций (IPO) [84].

Согласно отчёту Bloomberg от 28 октября 2021 года, концерн GlobalFoundries Inc и её основной акционер Mubadala Investment Co уже продали 55 млн акций, выручив таким образом почти 2,6 млрд долл. США в ходе первичного публичного размещения акций (IPO). Среди покупателей акций можно назвать такие фирмы, как Qualcomm Inc и Silver Lake, а также управляющие фонды: BlackRock Inc., Columbia Management Investment Advisers, Fidelity Management, дочерняя компания Koch Industries Inc [85].

После тщательных подсчётов 30 октября 2021 года GlobalFoundries проинформировал инвесторов о том, что в результате предпринятых мер, впервые за последние три года, концерну удалось покончить с убытками, и III квартал завершён с чистой прибылью в размере 299 млн долл. США. Доход GFS за III квартал 2021 г. составил 1,7 млрд долл. США [86].

Перспективу своего развития GFS связывает прежде всего с расширением производства на территории США. Так, GlobalFoundries намерена построить новый завод в штате Нью-Йорк. Кроме того, в планах GFS на 2022 год одними из наиболее приоритетных задач являются модернизация предприятий в Германии и реконструкция сингапурских фабрик [87]. Значительную часть финансирования руководство фирмы надеется получить в рамках новой национальной программы США по развитию предприятий электронной промышленности на территории страны. Основная маркетинговая идея GlobalFoundries заключается в том, что для того, чтобы избежать повторного кризиса в будущем, необходимо организовать мощные предприятия по производству ПЭК в США и ЕС. В 2019, 2020 и первой половине 2021 года GlobalFoundries получила 698 млн долл. США государственных субсидий на развитие производствен-

ных мощностей, НИР и ОКР. Более подробную информацию о финансовом положении GlobalFoundries можно найти на сайте [88, 89].

Стоит обратить внимание на новый совместный проект с Ford. Ведущий автомобильный гигант Ford понёс значительные убытки из-за дефицита автомобильных ПЭК. Поскольку проблемы с этими комплектующими могут продлиться ещё несколько лет, концерн Ford заключил стратегическое соглашение с GlobalFoundries о разработке автомобильных чипов. С одной стороны, это партнёрское сотрудничество в краткосрочной перспективе поможет увеличить выпуск автомобильных чипов для Ford. С другой стороны, в перспективе может быть организовано совместное производство GlobalFoundries–Ford новейших чипов для автомобильной электроники непосредственно на территории США [90].

Подводя итог первой части статьи, можно говорить о том, что практически все цитированные источники предполагают, что COVID-19 был тем триггерным механизмом, который на первом этапе вызвал кризис глобальной мировой логистики. Проблемы доставки грузов привели к дефициту комплектующих, сырья и оборудования практически во всех областях промышленности. В полном соответствии с классической теорией экономики пропорционально снижению степени доступности дефицитных товаров выросли и цены на них.

Благодаря тому, что основная часть производства полупроводниковых электронных компонентов в настоящее время сосредоточена в странах Азии, возник крайне острый дефицит таких изделий в Европе и Америке. В результате значительные убытки понесли потребители этих комплектующих. Производители ПЭК, наоборот, закончили 2021 год со значительной прибылью. Как справедливо утверждают многочисленные эксперты, эпидемия COVID-19 и проблемы логистики вряд ли закончатся в наступающем году. А это значит, что дефицит и рост цен будут продолжаться в течение времени, которое сейчас никто точно предсказать не может.

Ведущие контрактные производители TSMC, UMC, GF, рассмотренные в этой части статьи, намерены значительно увеличить свои производственные мощности. Однако на это может потре-

боваться несколько лет. Кроме того, можно ожидать, что некоторые фирмы категории Fabless Companies также займутся производством ПЭК. Например, Qualcomm упоминал о таких планах.

Все фирмы, которые реально производят полупроводниковые электронные компоненты в виде полностью законченных деталей, делятся на два больших класса.

1. Фирмы «Semiconductor Contract Manufacturing Company» изготавливают продукцию по контрактам и патентам других фирм на собственных предприятиях (другое название – «Pure-Play Foundry Business»). Ведущие мировые производители этого класса: TSMC, GlobalFoundries и UMC. Основные этапы деятельности этих фирм рассмотрены в первой части статьи.
2. Фирмы «Integrated Device Manufacturers» (IDM) разрабатывают собственную полупроводниковую продукцию и изготавливают её на принадлежащих им предприятиях. Кроме электронных компонентов эти фирмы производят также законченные электронные устройства, в которых используются также комплектующие других производителей. Мировые лидеры этой группы – Samsung, Intel, Texas Instruments. О том, как эти фирмы переживают кризис, вызванный пандемией COVID-19, будет рассказано во второй части статьи.

Литература

3. URL: <https://www.nepia.com/industry-news/coronavirus-outbreak-impact-on-shipping/>.
4. URL: <https://www.abc.net.au/news/2021-10-29/what-is-the-great-shipping-container-shortage-covid-christmas/100550198>.
5. URL: <https://www.investmentmonitor.ai/analysis/covid-global-shipping-container-shortage>.
6. URL: https://www.umc.com/upload/media/08_Investors/Financials/Quarterly_Results/Quarterly_2020-2029_English_pdf/2021/Q3_2021/UMC21Q3_report.pdf.
7. URL: <https://www.statista.com/chart/25552/semiconductor-manufacturing-by-location/>.
8. URL: <https://www.theguardian.com/business/2020/mar/06/jaguar-land-rover-hit-by-85-sales-slump-in-china-due-to-coronavirus>.
9. URL: <https://www.cbsnews.com/news/semiconductor-chip-shortage-60-minutes-2021-08-29/>.

10. URL: <https://www.wsj.com/articles/store-shelves-stripped-of-laptops-as-coronavirus-increases-working-from-home-11584534112>.
11. URL: <https://www.pcworld.com/article/3513952/the-pc-market-once-left-for-dead-actually-grew-during-2019.html>.
12. URL: <https://ru.reuters.com/article/gc07/idUKKBN20D2AA>.
13. URL: <https://www.sourcetoday.com/news/article/21125528/impact-of-coronavirus-on-distributors-of-electronic-components>.
14. URL: <https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/shortage-on-the-global-market-of-electronic-components-whos-to-blame-and-what-to-do/>.
15. URL: <https://finance.yahoo.com/news/chip-lead-times-begin-slow-155824956.html>.
16. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-10-26/chip-lead-times-begin-to-slow-suggesting-shortages-have-peaked>.
17. URL: <https://www.fiercееlectronics.com/electronics/chip-crunch-lead-times-up-to-52-weeks-stability-by-mid-2023>.
18. URL: https://www.theregister.com/2021/11/18/cisco_q1_22/.
19. URL: https://www.theregister.com/2021/11/04/arista_juniper_q3_price_rises/.
20. URL: <https://www.investmentmonitor.ai/analysis/covid-global-shipping-container-shortage>.
21. URL: <https://www.freightos.com/>.
22. URL: <https://www.xeneta.com/blog/whats-driving-container-rates-right-now>.
23. URL: <https://www.abc.net.au/news/2021-10-29/what-is-the-great-shipping-container-shortage-covid-christmas/100550198>.
24. URL: <https://www.seatrade-maritime.com/containers/survival-nvoccs-container-shortage-and-logistics-under-covid-19>.
25. URL: <https://www.seatrade-maritime.com/ports-logistics/record-79-containerships-queued-lalong-beach-ports>.
26. URL: <https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/shortage-on-the-global-market-of-electronic-components-whos-to-blame-and-what-to-do/>.
27. URL: <https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/shortage-on-the-global-market-of-electronic-components-whos-to-blame-and-what-to-do/>.
28. URL: <https://www.fool.com/earnings/call-transcripts/2021/11/01/arista-networks-anet-q3-2021-earnings-call-transcr/>.
29. URL: <https://sensorsconverge2021.sched.com/list/descriptions/>.
30. URL: <https://www.wsj.com/articles/worlds-largest-chip-maker-to-raise-prices-threatening-costlier-electronics-11629978308>.

31. URL: <https://www.zdnet.com/article/hunker-down-the-chip-shortage-and-higher-prices-are-set-to-linger-for-a-while/>.
32. URL: <https://english.etnews.com/20211115200001>.
33. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-01/nxp-gives-bullish-outlook-on-efforts-to-increase-chip-supply>.
34. URL: <https://www.ft.com/content/d9a0ff69-f032-4bcd-93cb-5c65c9269871>.
35. URL: <https://www.cnbc.com/2021/09/23/chip-shortage-expected-to-cost-auto-industry-210-billion-in-2021.html>.
36. URL: <https://www.supplychainbrain.com/articles/33543-carmakers-chip-crisis-isnt-getting-better-suppliers-say>.
37. URL: <https://www.sourcengine.com/blog/renesas-increases-production-raising-prices-due-automotive-chip-crisis-2021-02-03>.
38. URL: <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/auto-components/chip-shortage-to-cost-automakers-110-billion-in-revenues-in-2021-alixpartners/82625724>.
39. URL: <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20210224-10675.html>.
40. URL: <https://ru.depositphotos.com/stock-photos/tsmc-logo.html>.
41. URL: <https://www.taiwannews.com.tw/en/news/4315759#:~:text=TSMC's%20consolidated%20revenue%20for%20the,increase%20year-over-year>.
42. URL: <https://www.anandtech.com/show/15420/tsmc-boosts-capex-by-1-billion-expects-5n-node-to-be-major-success>.
43. URL: <https://pr.tsmc.com/english/news/2889>.
44. URL: <https://www.tsmc.com/english/news-events/blog-article-20200803>.
45. URL: <https://techtaiwan.com/20211201/tsmc-3nm-hetero>.
46. URL: <https://www.anandtech.com/show/16024/tsmc-details-3nm-process-technology-details-full-node-scaling-for-2h22>.
47. URL: <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-semiconductors-chips-shortage/>.
48. URL: <https://www.wsj.com/articles/qualcomm-sees-path-out-of-chip-shortage-stretching-into-2022-11627504790>.
49. URL: <https://www.broadcom.com/solutions/industrial-automotive/automotive-solutions>.
50. URL: <https://www.amd.com/en/products/embedded-automotive-solutions>.
51. URL: <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-semiconductors-chips-shortage>.
52. URL: <https://www.refinitiv.ru/ru/about-us>.
53. URL: <https://www.theverge.com/2021/1/13/22229497/qualcomm-apple-nuvia-acquisition-cpu-chip-design-data-center>.
54. URL: <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/TSMC-confirms-talks-to-build-Japan-chip-plant>.
55. URL: <https://techtaiwan.com/20211104/tsmc-apple-a16/>.
56. URL: <https://www.reuters.com/article/tsmc-results-idCNL1N2RA0A4>.
57. URL: <https://www.theverge.com/2021/8/26/22642627/tsmc-chip-price-increase-supply-shortages-apple-qualcomm>.
58. URL: <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/TSMC-eyes-plans-for-first-chip-plant-in-Japan>.
59. URL: <https://slate.com/news-and-politics/2021/11/china-taiwan-invasion-philip-davidson-military-threat.html>.
60. URL: <https://www.umc.com/en>.
61. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/2021027005443/en/UMC-Reports-Third-Quarter-2021-Results>.
62. URL: <https://www.usjpc.com/en/news/topics-c/20201001e>.
63. URL: <https://mob-mobile.ru/statya/9638-chto-takoe-amoled-displey-v-smartfone.html>.
64. URL: https://www.umc.com/en/StaticPage/about_overview.
65. URL: https://www.umc.com/en/News/press_release/Content/technology_related/20210308.
66. URL: <https://www.eetasia.com/umc-and-chipbond-to-establish-strategic-cooperation/>.
67. URL: <https://www.taipetimes.com/News/biz/archives/2020/12/08/2003748296>.
68. URL: <https://asia.nikkei.com/Economy/Trade-war/Taiwan-s-UMC-to-pay-60m-fine-to-settle-US-trade-secrets-case>.
69. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-25/taiwan-s-umc-pays-to-settle-tech-theft-litigation-with-micron>.
70. URL: <https://www.justice.gov/opa/pr/taiwan-company-pleads-guilty-trade-secret-theft-criminal-case-involving-prc-state-owned>.
71. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-10-28/taiwan-s-umc-to-help-u-s-prosecute-chinese-firm-over-secrets>.
72. URL: <https://www.techpowerup.com/249056/us-bans-exports-to-chinese-dram-maker-fujian-jinhua-citing-national-security-interests>.
73. URL: <https://npl971975.wordpress.com/2019/01/05/suu-tam-exclusive-taiwans-umc-to-scale-down-chip-project-with-chinese-partner>.
74. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-25/taiwan-s-umc-pays-to-settle-tech-theft-litigation-with-micron>.
75. URL: <https://www.mubadala.com/en/who-we-are/about-the-company>.
76. URL: <https://www.forbes.com/sites/willyshih/2021/02/15/globalfoundries-to-build-secure-chips-for-dod-in-upstate-new-york/?sh=41b6e6855726>.
77. URL: <https://www.notebookcheck.net/Qualcomm-unveils-the-new-QTM527-mmWave-antenna-module-for-the-Snapdragon-X55-modem.434479.0.html>.
78. URL: <https://lightmatter.co/>.
79. URL: <https://www.techpowerup.com/282386/raytheon-technologies-and-globalfoundries-partner-to-accelerate-5g-wireless-connectivity-using-gallium-nitride-on-silicon-gan-on-si>.
80. URL: <https://www.soitec.com/en/>.
81. URL: <https://www.timesunion.com/business/article/Judge-tosses-IBM-s-fraud-claims-against-16464321.php>.
82. URL: <https://www.marketwatch.com/story/globalfoundries-ipo-5-things-to-know-about-the-chip-company-going-public-in-a-semiconductor-shortage-11634834944>.
83. URL: <https://semianalysis.com/globalfoundries-is-a-leading-edge-foundry-despite-claims-otherwise/>.
84. URL: <https://semianalysis.com/globalfoundries-gfs-ipo-mubadala-lost-over-22-4b-now-they-are-hoping-public-markets-bail-them-out/>.
85. URL: <https://www.globest.com/2019/04/22/globalfoundries-to-sell-east-fishkill-ny-semiconductor-plant-for-430m/?slreturn=20211025080159>.
86. URL: <https://www.marketwatch.com/story/globalfoundries-ipo-5-things-to-know-about-the-chip-company-going-public-in-a-semiconductor-shortage-11634834944>.
87. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-10-27/globalfoundries-mubadala-raise-2-6-billion-in-top-of-range-ipo>.
88. URL: <https://gf.com/press-release/globalfoundries-reports-third-quarter-2021-financial-results>.
89. URL: <https://gf.com/news-events/globalfoundries-press-releases>.
90. URL: <https://semianalysis.com/globalfoundries>.
91. URL: <https://semianalysis.com/globalfoundries-gfs-ipo-mubadala-lost-over-22-4b-now-they-are-hoping-public-markets-bail-them-out/>.
92. URL: <https://www.washingtonpost.com/business/2021/11/18/ford-computer-chip-globalfoundries/>.





ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ

16 февраля

ПТА – Екатеринбург

Novotel Екатеринбург Центр

30 марта

ПТА – Казань

Отель Ramada Kazan City Centre

25 мая

ПТА – Санкт-Петербург

Отель Holiday Inn St. Petersburg

28 сентября

ПТА – Уфа

Nesterov Plaza Hotel

26 октября

ПТА – Новосибирск

Отель «Новосибирск Марриотт»

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ 2022

**Специализированные
конференции**

- Промышленная автоматизация
- Цифровизация производства
- Искусственный интеллект
- Интернет вещей и большие данные
- Информационная безопасность
- Автоматизация зданий и инженерных систем

Новейшие достижения компании SV Microwave/Amphenol в области радиочастотных соединений

Кива Джуринский (kbd.istok@mail.ru)

В статье показаны результаты работ по совершенствованию радиочастотных соединений, выполненных американской компанией SV Microwave/Amphenol в 2017–2019 годах. Рассмотрены конструкция, электрические параметры и номенклатура соединителей SMPM с предельной частотой 65 ГГц для работы в бортовой аппаратуре при повышенных вибрационных и ударных нагрузках. Показаны конструкция и параметры соединения печатных плат при расстоянии между ними 3 мм, что стало возможным благодаря применению сверхминиатюрного адаптера розетка-розетка («bullet»).

О компании SV Microwave/Amphenol

Радиочастотные соединители с интерфейсом SMPM, рассмотренные в данной статье, созданы компанией SV Microwave. Эта компания является мировым лидером в области СВЧ-микроэлектроники, имеющим более чем 50-летний опыт работы по созданию радиочастотных соединителей, кабельных сборок и различных пассивных компонентов, предназначенных для военных систем, Интернета вещей, 5G, спутниковых, высокоскоростных, аэрокосмических, коммерческих и телекоммуникационных приложений. В мае 2005 года SV Microwave была приобретена крупной корпорацией Amphenol, и с тех пор её называют SV Microwave/Amphenol.

Разработка соединителей SMPM с предельной частотой 65 ГГц для работы при повышенных вибрационных и ударных нагрузках

Стандартные соединители SMPM

В 1990 году компания Corning Gilbert, США, разработала микроминиатюрные, соединяемые защёлкиванием, соединители GPPO с предельной частотой 65 ГГц. Сегодня эти соединители выпускают десятки компаний всего мира под собственными фирменными названиями: SMPM, MINI-SMP и др. (далее – SMPM – «sub-miniature push-on, micro»). Разработаны соединители SMPM с полным и ограниченным защёлкиванием и скользящим соединением вилки и розетки. Интерфейс соединителей SMPM соответствует стандарту MIL-STD-348A (см. рис. 1) [1].

Разработаны следующие модификации соединителей SMPM [1]:

- прямые и угловые кабельные и приборно-кабельные соединители, предназначенные для работы с полужёстким кабелем 0,085" (RG-405) и 0,047", а также с гибким и формуемым вручную кабелем;
- приборные вилки, монтируемые в стенки корпусов изделий из алюминия и титановых сплавов: впаяемые, под лазерную сварку, резьбовые и запрессовываемые в корпуса;
- вилки для установки в отверстия печатных плат, для поверхностного монтажа на платы и концевые;
- адаптеры розетка-розетка, называемые «bullet», для соединения «вслепую», обеспечивающие гибкую связь между вилками, установленными на разных платах, и позволяющие компенсировать несоосность между вилками на соединяемых платах. Длина выпускаемых адаптеров «bullet» зависит от требуемого расстояния между платами;
- междусерийные адаптеры для совместимости с соединителями других типов: SMA, 3,5 мм, 2,92 мм, 2,4 мм и 1,85 мм.

Внешний вид соединителей SMPM основных модификаций показан на рис. 2, а их основные параметры приведены в табл. 1 [1, 2].

Благодаря миниатюрности (вес соединителя составляет десятые доли грамма) и высокому уровню электрических параметров данные соединители нашли применение в сложных многофункциональных модулях СВЧ с высокой плотностью компоновки.

Однако, несмотря на высокий уровень параметров соединителей SMPM, разработчики ответственных бортовых систем опасаются, что соединение защёлкиванием может не выдержать высокие вибрационные и ударные нагрузки. Чтобы повысить надёжность соединителей, ведущие зарубежные компании разработали свои собственные изделия, в которых сочленение вилки и розетки защёлкиванием усилено другими способами соединения (резьбовым, байонетным или вторым защёлкиванием) [3, 4].

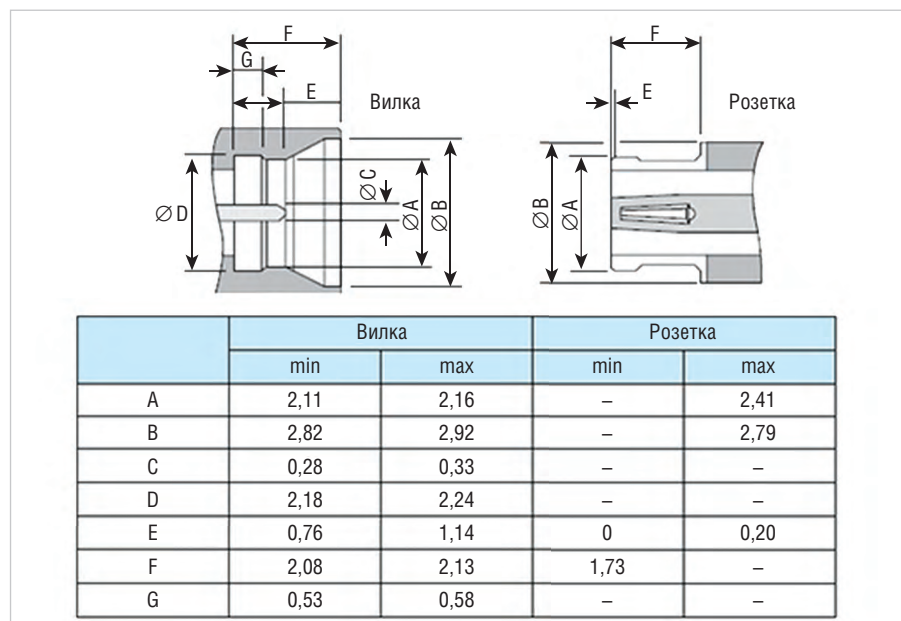


Рис. 1. Интерфейс вилки (для полного защёлкивания) и розетки соединителей SMPM

Компания SV Microwave/Amphenol в 2019 году также разработала линейку резьбовых соединителей SMPM для работы при повышенной вибрации с высоким уровнем электрических и механических характеристик [5, 6].

Резьбовые соединители SMPM

Так как при воздействии вибрационных и ударных нагрузок надёжность соединения защёлкиванием уступает резьбовому соединению, напрашивалось решение объединить оба эти соединения в конструкции соединителя SMPM. Впервые резьбовое соединение в дополнение к соединению защёлкиванием применила компания Astrolab, разработавшая соединители SMPM-T [1, 3, 4]. В кабельном соединителе-розетке SMPM-T стандартный интерфейс SMPM был дополнен резьбовой втулкой, устанавливаемой на кабель, а приборный соединитель-вилка выполнен с внешней резьбой на корпусе (см. рис. 3).

Соединители SMPM-T отличаются высокой стойкостью к ударам и вибрации, надёжной фиксацией и улучшенной экранировкой (экранное затухание по сравнению с обычными соединителями SMPM выше на 10 дБ). В случае необходимости соединители SMPM-T и SMPM могут без ограничений соединяться друг с другом.

Однако такое конструктивное решение соединителя SMPM-T не универсально, оно возможно только для прямых кабельных соединителей и неосуществимо для угловых соединителей.

Компания SV Microwave/Amphenol предложила установить резьбовую втулку непосредственно на кабельный соединитель-розетку, а приборную вилку, как и в предыдущем случае, выполнить с наружной резьбой на корпусе. Такое решение универсально, так как применимо как к прямым, так и к угловым соединителям. Резьбовая втулка, изготовленная из нержавеющей стали, имеет следующие размеры: наружный диаметр 4,57 мм, длина приблизительно 6 мм, резьба 0.148-56 UNS (наружный диаметр резьбы 3,76 мм, шаг резьбы 0,45 мм).

Были разработаны 8 модификаций резьбовых соединителей SMPM (см. табл. 2). В таблице представлены вилки для скользящего соединения с ответной кабельной розеткой (позиции 5 и 6). По заказу потребителя такие вилки могут быть изготовлены для соединения с ответной кабельной розеткой полным защёлкиванием.

Резьбовые кабельные соединители, в которых использовано сочетание



Рис. 2. Соединители SMPM: 1 – прямая кабельная розетка для кабеля 0,047" и 0,085"; 2 – угловая кабельная розетка для кабеля 0,047" и 0,085"; 3 – адаптер SMPM розетка – SMPM розетка («bullet»); 4 – вилка для монтажа в отверстия печатной платы; 5 – концевая вилка для монтажа на печатную плату; 6 – вилка для поверхностного монтажа на печатную плату; 7 – адаптер SMPM розетка – 2,92 мм розетка; 8 – адаптер SMPM вилка – 2,92 мм вилка

Таблица 1. Параметры соединителей SMPM

Параметр	Значение параметра
Волновое сопротивление, Ом	50
Рабочий диапазон частот, ГГц (DC – direct current, постоянный ток)	DC...65 (прямые соединители), DC...40 (угловые соединители)
Рабочее напряжение, В (на уровне моря)	170...325
Напряжение пробоя, В (на уровне моря)	500
Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	1,15 (0...10); 1,25 (10...26,5); 1,35 (26,5...50); 1,50 (50...65)
Величина потерь на частоте f , ГГц	$0,12\sqrt{f}$
Экранное затухание, дБ (в диапазоне частот f , ГГц)	-80 (0...3)
Минимальное сопротивление изоляции, МОм	5000
Допустимая пропускаемая мощность, Вт (на частоте, ГГц) при температуре 25°C	16 (1)
Рабочий диапазон температур, °C	-65...+165
Допустимые радиальное и аксиальное смещения между осями вилки и розетки при соединении, мм	0,25
Усилия соединения/рассоединения, Н	11/6,7 – скользящее соединение, 20/29 – полное защёлкивание
Допустимое количество циклов соединение – рассоединение	100 (полное защёлкивание), 500–1000 (скользящее соединение)

Примечания: 1. Величины КСВН, потерь и экранного затухания, приведённые в data sheet разных производителей соединителей SMPM, заметно отличаются. Более подробно электрические параметры соединителей SMPM рассмотрены в работах [1, 2].

2. В спецификациях часто приводят значение напряжения соединителя без уточнения его вида. Имеются 3 вида напряжения соединителя: 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. Испытательное напряжение – это максимальное напряжение, при котором должен быть протестирован соединитель. Оно составляет 75% от напряжения пробоя соединителя. Рабочее напряжение – максимальное напряжение, при котором соединитель должен работать с заданными параметрами в течение всего срока службы. Рабочее напряжение составляет 1/3 от испытательного напряжения и зависит как от конструкции соединителя, так и от конкретных условий эксплуатации. В частности, при указании рабочего напряжения в спецификации должны быть приведены значения атмосферного давления на уровне моря или на высоте 70 000 футов (21,3 км) и температуры.

скользящего и резьбового соединений, имеют низкие усилия сочленения и расчленения розетки и вилки. Соединители испытывают по стандарту MIL-STD-202, методами 204 и 213. Данные методы используются в испытаниях на воздействие вибрации и ударов для изделий авиационного и космического назначения. Резьбовые соединители SMPM, естественно, стоят дороже стандартных аналогов в 1,2...1,8 раз.

При этом наиболее заметно возрастает стоимость резьбовых кабельных соединителей, прямых и угловых.

Соединение печатных плат с применением сверхминиатюрного адаптера «bullet» компании SV Microwave/Amphenol

Соединители SMPM привлекли внимание разработчиков изделий СВЧ-

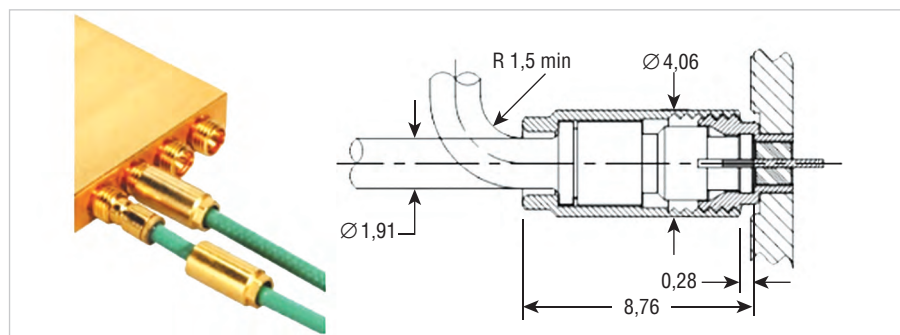


Рис. 3. Соединитель SMPM-T

Таблица 2. Резьбовые соединители SMPM компании SV Microwave/Amphenol

№ п/п	Обозначение соединителя	Тип соединителя	Параметры	Внешний вид
1	3221-60016	Прямая кабельная розетка для кабеля 0,085" (RG-405)	Рабочий диапазон частот: 0...40 ГГц. КСВН: 1,25 (DC...26,5); 1,3 (26,5...50) Потери на частоте, ф, ГГц – $0,07\sqrt{f}$	
2	3221-60017	Прямая кабельная розетка для кабеля 0,047"		
3	3222-40059	Угловая кабельная розетка для кабеля 0,085" (RG-405)	Рабочий диапазон частот: 0...26,5 ГГц. КСВН: 1,1 (DC...26,5)	
4	3222-40060	Угловая кабельная розетка для кабеля 0,047"		
5	3211-60298	Вилка для установки в отверстия печатной платы для скользящего соединения с розеткой	Рабочий диапазон частот: 0...40 ГГц. КСВН: 1,25 (DC...26,5); 1,3 (26,5...40) Потери на частоте, ф, ГГц – $0,07\sqrt{f}$	
6	3211-40121	Концевая вилка для скользящего соединения с розеткой		
7	1132-6108	Адаптер SMPM розетка – 2,92 мм розетка.	Рабочий диапазон частот: 0...40 ГГц. КСВН: 1,25 (DC...26,5); 1,3 (26,5...40) Потери на частоте, ф, ГГц – $0,07\sqrt{f}$	
8	1132-6109	Адаптер SMPM вилка – 2,92 мм розетка		

микроэлектроники ещё и потому, что они обеспечивают быстрое соединение печатных плат без применения радиочастотных кабелей с помощью адаптеров розетка-розетка «bullet». Для этого на каждой из соединяемых печатных плат устанавлива-

ют соединитель SMPM вилка, а соединение плат производят при помощи адаптера «bullet» с двумя цанговыми центральными проводниками, закреплёнными во фторопластовом изоляторе, установленном в корпусе адаптера (см. рис. 4) [1].

Адаптер «bullet» обеспечивает надёжное соединение и компенсирует радиальную и осевую несоосность до 0,25 мм соединителей SMPM вилка, установленных на печатных платах. Он является ключевым элементом при создании компактного соединения плат и модульных конструкций, так как его длина определяет расстояние между соединяемыми печатными платами. Поэтому для уменьшения расстояния между соединяемыми платами зарубежные компании стремятся максимально уменьшить длину адаптера «bullet» (см. табл. 3) [1, 7, 8].

Рекордсменом в области миниатюризации адаптеров «bullet» является компания SV Microwave/Amphenol [7–9]. В 2017 году эта компания сообщила о создании адаптера «bullet» с длиной корпуса всего 2,48 мм, обеспечивающего соединение плат, отстоящих друг от друга на расстояние 3 мм (мин. 2,88 мм, макс. 3,0 мм), для устройств с высокой плотностью компоновки. Однако, в отличие от стандартных адаптеров «bullet» розетка-розетка, разработанный компанией SV Microwave/Amphenol микроминиатюрный «bullet» является адаптером вилка-вилка. Это обусловлено конструктивной и технологической сложностью создания цанговых контактов розетки при таких малых размерах адаптера.

Конструкция адаптера вилка-вилка показана на рис. 5а [8]. Применение этого адаптера для соединения печатных плат потребовало полностью изменить конструкцию и технологию соединения. Были разработаны корпуса вилок (без изоляторов и цанговых центральных проводников), имитирующие интерфейсы полного защёлкивания и скользящего соединения, называемые Shroud: Shroud FD (Full Detend – полное защёлкивание) и Shroud SB (Smooth Bore – скользящее соединение). Корпуса Shroud изготовлены из пассивированной нержавеющей стали и имеют резьбовые отверстия для крепления винтами на печатные платы (см. рис. 5б,в) [7–9].

Shroud для скользящего соединения устанавливают на одной печатной плате, а Shroud для полного защёлкивания – на противоположной. Процесс соединения плат иллюстрируют рис. 6а, 6б. Для работы с адаптером «bullet» компания SV Microwave/Amphenol разработала специальный инструмент № 500-80-014 (см. рис. 6в). При соединении плат центральный проводник адаптера «bullet» непосредственно контактирует с микрополосковыми линиями печатных плат. Скользящее соединение обеспечивает

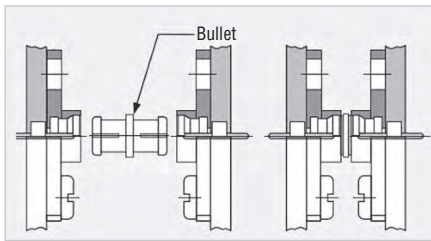


Рис. 4. Соединение печатных плат с помощью адаптера «bullet» и двух соединителей SMPM вилка

лёгкое рассоединение плат без применения специального инструмента. Поэтому при рассоединении плат адаптер «bullet» остаётся на плате соединённым с Shroud FD (для полного защёлкивания).

Соединение плат, расстояние между которыми 3 мм, при помощи адаптера «bullet» компании SV Microwave/Amphenol имеет следующие электрические параметры:

- рабочий диапазон частот DC...40 ГГц;
- КСВН в диапазоне частот DC...18 ГГц – 1,10, в диапазоне частот 18...40 ГГц – 1,30;
- величина вносимых потерь 0,30 дБ на частоте 18 ГГц и 0,60 дБ на частоте 40 ГГц.

Предложенное соединение обеспечивает указанные электрические параметры при осевом смещении Shroud и адаптера до 0,127 мм и радиальном смещении – до 0,18 мм при минимальном межцентровом расстоянии между соседними соединителями 3,81 мм. Допустимое количество соединений и рассоединений – 500. Рабочий диапазон температур от –65°C до +165°C. Такое соединение не требует операции пайки, и поэтому не повреждает платы и обеспечивает низкие усилия соединения и рассоединения плат.

Соединение плат с минимальным расстоянием между ними (3 мм) идеально подходит для использования в приложениях с высокой плотностью размещения печатных плат.

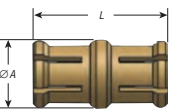
Заключение

Представленная в данной статье информация о соединителях компании SV Microwave/Amphenol является примером активной работы ведущих зарубежных компаний по совершенствованию радиочастотных соединений. Основная цель этой публикации – показать отечественным разработчикам одно из направлений работ в этой области.

Литература

1. Джуринский К.Б. Современные радиочастотные соединители и помехопо-

Таблица 3. Размеры адаптеров «bullet» зарубежных компаний

	Компании США				
	SV Microwave/ Amphenol	Corning Gilbert	Micro Mode	Cristek	Delta
 Адаптер «bullet» розетка-розетка	Размеры «bullet», мм				
	№ 3290-4003	L=5,3...16,4	L=4,5...22,9	L=4,1...16,5	L=5,33...8,0
	A=2,74, L=8,3				
	№ 3290-4002				
	A=2,74, L=5,36				
	№ 1132-4021				
 Адаптер «bullet» вилка-вилка	A=2,41, L=4,57				
	№ 1132-4010				
	A=2,31, L=4,22				
	№ 1180-4010	–	–	–	–
	A=2,86, L=2,48				

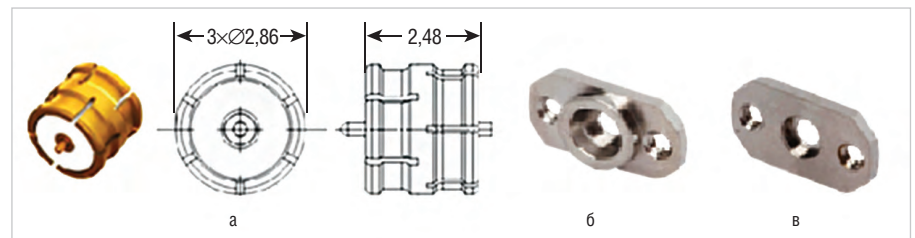


Рис. 5. Адаптер «bullet» № 1180-4010 компании SV Microwave/Amphenol (а), Shroud FD № 012-80-487/020 (б), Shroud SB № 012-80-488/020 (в)

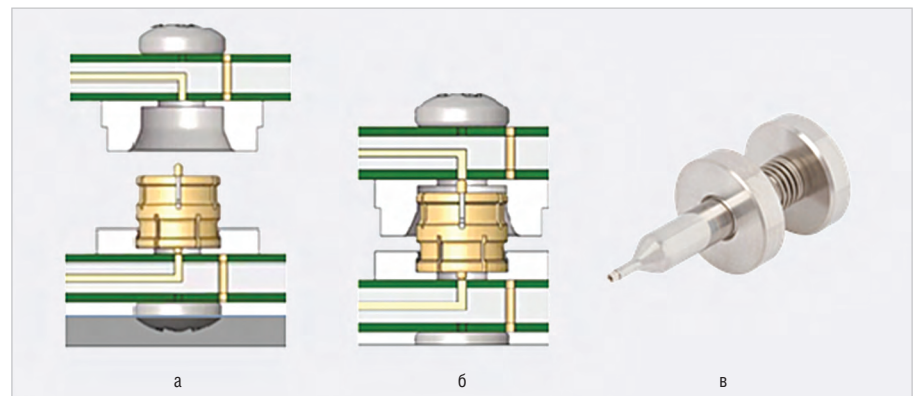


Рис. 6. Скользящее соединение адаптера «bullet» с нижней печатной платой (а), полное защёлкивание адаптера «bullet» с верхней печатной платой (б), инструмент для работы с адаптером «bullet» (в)

- давяющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит», 2014. 426 с.
2. Microwave Gilbert® Push-on Interconnects – Corning // URL: <https://www.corning.com>.
3. Джуринский К.Б. Соединители SMP с повышенной устойчивостью к вибрационным и ударным нагрузкам // Электроника НТБ. 2021. № 8. С. 88–90, 92, 94, 96, 98–100.
4. Weirback A. High density coaxial interconnect solution for space applications requiring high electrical stability. Huber+Suhner Astrolab, Inc. // URL: <https://escies.org>.

5. New Products | SV Microwave // URL: <https://www.svmicrowave.com>.
6. Threaded SMPM Connectors and Adapters SV Microwave // URL: <https://www.svmicrowave.com>.
7. SV's New 3mm Board-to-Board Interconnect // URL: <https://www.svmicrowave.com>.
8. Amphenol/SV Microwave 3mm Board-to-Board Interconnects // URL: <https://www.mouser.com>.
9. Board-to-Board Connectors Product Roundup // URL: <https://connectorsupplier.com>.



Мощные резистивные поглотители (фиксированные аттенюаторы и эквиваленты нагрузок) с воздушным охлаждением

Игорь Белков, к. т. н. (belkov@erkon-nn.ru),
Юрий Еремеев (belkov@erkon-nn.ru),
Илья Малышев, к. т. н. (min@erkon-nn.ru)

В статье описаны мощные резистивные поглотители (фиксированные аттенюаторы и эквиваленты нагрузок) с воздушным охлаждением, разрабатываемые АО «НПО «ЭРКОН», которые находят широкое применение в телекоммуникационной, измерительной, навигационной и лабораторной аппаратуре.

Мощные резистивные поглотители (фиксированные аттенюаторы и эквиваленты нагрузок) с воздушным охлаждением находят широкое применение в различных радиоэлектронных средствах (РЭС): от лабораторного использования при регулировке аппаратуры до стационарных телекоммуникационных систем связи и передвижных бортовых систем в навигации и радиоло-

кации. Для обеспечения потребности отечественного рынка в данных изделиях АО «НПО «ЭРКОН» [1] разрабатывает серию мощных аттенюаторов и эквивалентов нагрузок средней входной мощностью от 30 Вт до 2000 Вт с коаксиальными входами и широким диапазоном номинального ослабления от 3 дБ до 60 дБ в рабочем диапазоне частот до 18 ГГц.



Рис. 1. Внешний вид поглотителей PR1-24 и PR1-25:
а) эквивалент нагрузки PR1-24-50 (50 Вт);
б) фиксированный аттенюатор PR1-25-500 (500 Вт)

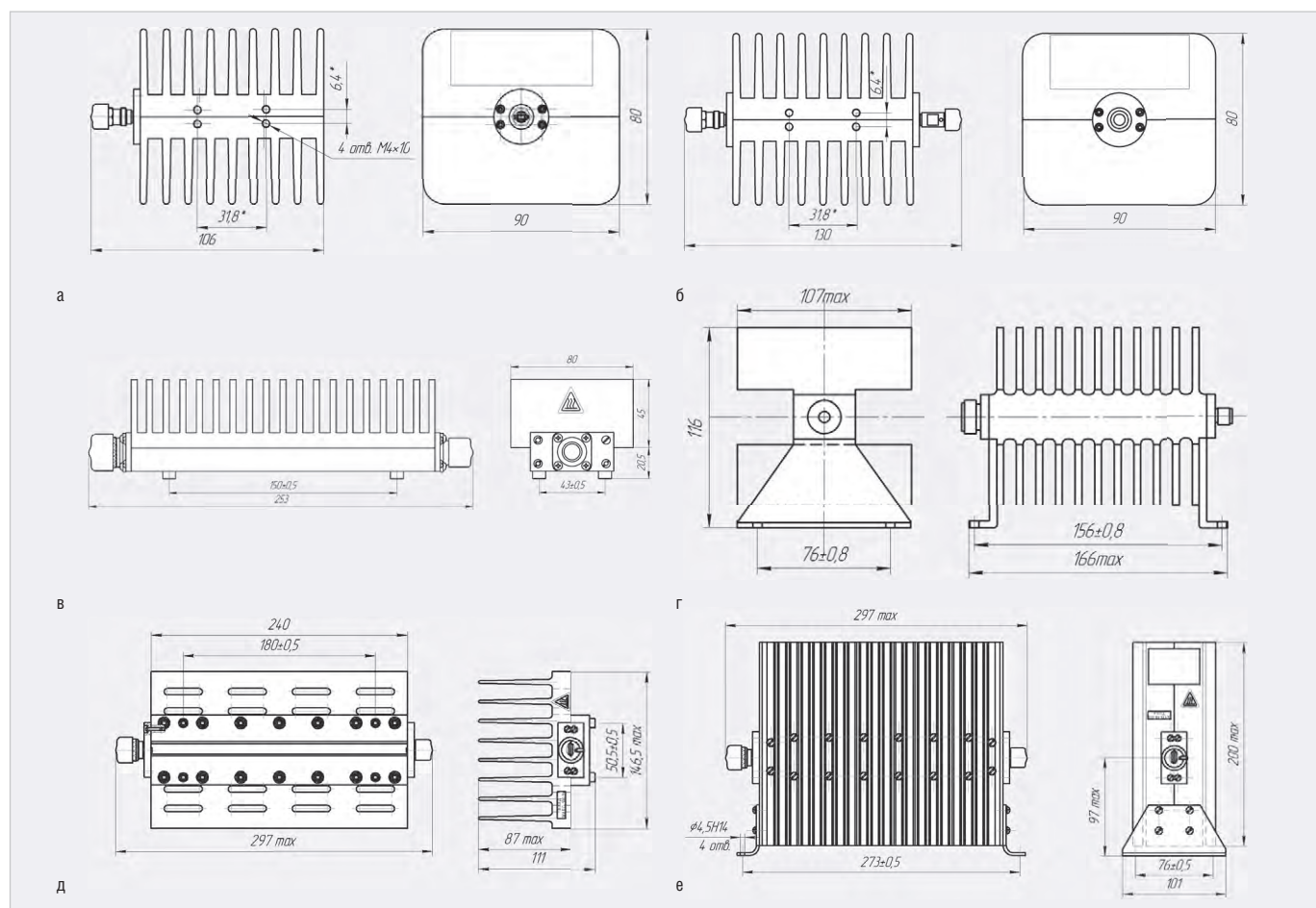


Рис. 2. Габаритные и установочные размеры поглотителей PR1-24 и PR1-25: а) эквивалент нагрузки PR1-24-50 (50 Вт); б) фиксированный аттенюатор PR1-25-50 (50 Вт); в) фиксированный аттенюатор PR1-25-100 (100 Вт); г) фиксированный аттенюатор PR1-25-150 (150 Вт); д), е) фиксированный аттенюатор PR1-25-500 (500 Вт)

В базовую линейку разрабатываемой АО «НПО «ЭРКОН» продукции, в том числе под требования заказчика, входят аттенюаторы и эквиваленты нагрузок с входной средней мощностью 50, 100, 150 и 500 Вт. Внешний вид, габаритные и установочные размеры изделий представлены на рис. 1 (а...б) и 2 (а...е), а основные технические характеристики – в табл. 1, табл. 2 и на рис. 3 (а...г).

Поглотители АО «НПО «ЭРКОН» являются конструктивно-функциональными аналогами мощных фиксированных аттенюаторов и эквивалентов нагрузок Weinschel Associates, Pasternack, Api technologies [2...4] и других известных мировых брендов. Поглотители обладают рядом достоинств, таких как широкополосность, высокая входная мощность (средняя и импульсная), малая неравномерность ослабления в полосе частот, возможность каскадирования, высокая температурная стабильность, различные варианты внешних присоединений, для некоторых моделей – двунаправленность. Последнее свойство позволяет подключать аттенюатор к источнику сигнала любым входом и исключает

Таблица 1. Технические характеристики поглотителей ПР1-25 (фиксированных аттенюаторов)

Тип поглотителя	ПР1-25-50	ПР1-25-100	ПР1-25-150	ПР1-25-500
Средняя входная мощность, Рср.вх, Вт	50	100	150	500
Импульсная входная мощность, Римп., Вт	500 (тимп = 5 мкс, D = 0,05 %)	1000 (тимп = 1 мкс, D = 5 %)	3000 (тимп = 5 мкс, D = 5 %)	5000 (тимп = 5 мкс, D = 5 %)
Ослабление на постоянном токе Аном, дБ	3; 6; 10; 20; 30; 40	1...50	3; 6; 10; 20; 30	10; 20; 30; 40
Допускаемое отклонение ослабления ΔА, дБ	±0,75 max (3; 6 дБ) ±1,0 max (10; 20 дБ) ±1,25 max (30 дБ) ±1,5 max (40 дБ)	±0,3	±0,5 (0...2 ГГц) ±1 (2...6 ГГц)	±0,75 (0...2,5) ±1,0 (2,5...5,0 ГГц)
Температурный коэффициент ослабления, дБ/дБ/°С	0,0004	0,0006	0,0006	0,0004
Коэффициент чувствительности ослабления к входной мощности, дБ/дБ/Вт	–	0,0005	0,0005	–
Рабочий диапазон частот, ГГц	0...18,0	0...1,0	0...6,0	0...5,0
КСВН, не более	1,25 (0...6,0 ГГц) 1,35 (6,0...12,4 ГГц) 1,45 (12,4...18,0 ГГц)	1,2	1,35	1,2 (0...2,5) 1,35 (2,5...5,0)
Сопротивление входа/выхода, Ом; тип подключения	50; SMA	50; N, III	50; N, III	50; N, III
Рабочий диапазон температур	От –60 до +125 °С	От –60 до +125 °С	От –60 до +125 °С	От –60 до +125 °С
Направленность	Односторонняя	Двусторонняя	Двусторонняя	Односторонняя



Акционерное общество ЭРКОН

Научно-производственное объединение

**ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНЮАТОРОВ
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

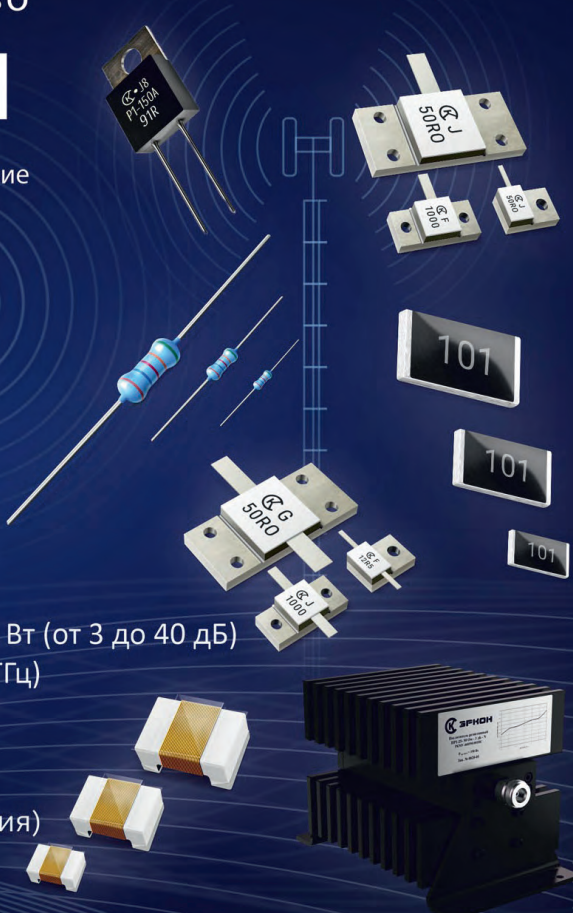


Таблица 2. Технические характеристики поглотителей типа ПР1-24-50 (эквивалентов нагрузок)

Средняя входная мощность, Рср.вх., Вт	Импульсная входная мощность, Римп., Вт	Номинальное сопротивление, Ом; тип подключения	Рабочий диапазон частот, ГГц	КСВН, не более	Рабочий диапазон температур
50	500 (тimp = 5 мкс, D = 0,05 %)	50; SMA	0...18,0	1,15 (0...6,0 ГГц) 1,25 (6,0...12,4 ГГц) 1,35 (12,4...18,0 ГГц)	От -60 до +125 °С

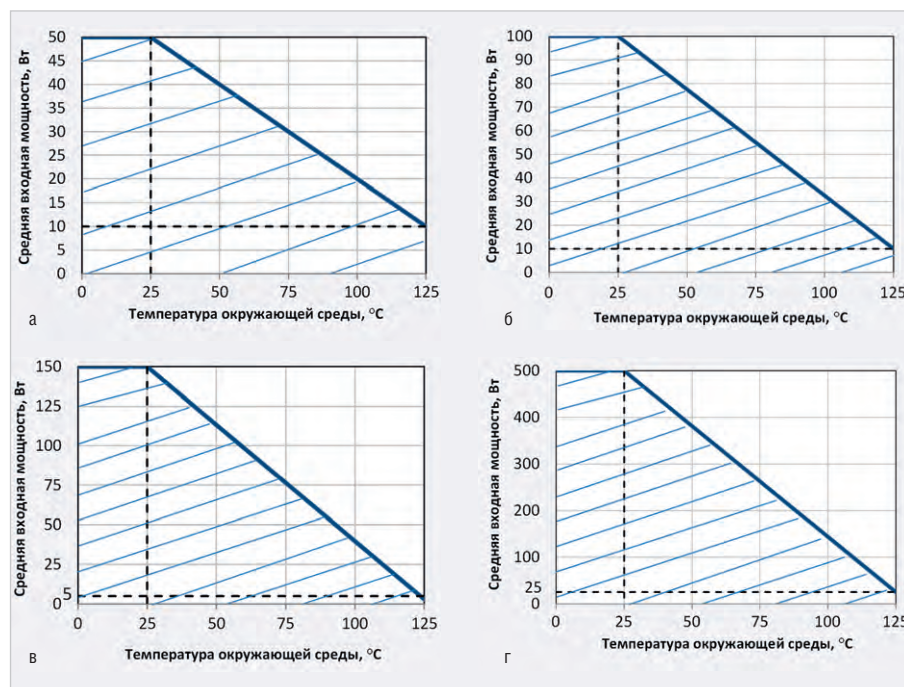


Рис. 3. Зависимость максимальной входной мощности от температуры окружающей среды для поглотителей: а) для эквивалента нагрузки ПР1-24-50 и фиксированного аттенуатора ПР1-25-50; б) для фиксированного аттенуатора ПР1-25-100; в) для фиксированного аттенуатора ПР1-25-150; г) для фиксированного аттенуатора ПР1-25-500

ошибку, при которой возможен выход устройства из строя из-за перегрузки.

Поглотители используют для нормированного снижения мощности при измерениях параметров сигналов в приёмо-передающих трактах РЭС и при настройке передающей аппаратуры в качестве пассивной нагрузки вместо антенн. В первом случае используют поглотители типа аттенуаторов фиксированного ослабления, нормированно снижающие мощность высокочастотного сигнала до уровней, без-

опасных для измерительных приборов. Во втором случае используют эквиваленты нагрузок. Но следует отметить, что для данной цели возможно использование и аттенуаторов с высокими значениями ослабления (более 20...30 дБ), так как основная мощность рассеивается в устройстве, а на выходе остаётся небольшая доля энергии, которую возможно рассеять в достаточно маломощной нагрузке. Кроме того, при использовании аттенуатора в качестве эквивалента нагрузки при высоких зна-

чениях ослабления (40...50 дБ и выше) использование согласованной нагрузки на выходе может не потребоваться (зависит от индивидуальных требований согласования на входе).

Номенклатура поглотителей представлена широким рядом значений номинального ослабления. При необходимости каскадированием фиксированных аттенуаторов возможно получить требуемые промежуточные значения ослабления. Учесть максимальные отклонения параметров при внешних воздействиях позволяют температурный коэффициент ослабления и коэффициент чувствительности ослабления к входной мощности.

Заключение

Резистивные поглотители с коаксиальными входами (фиксированные аттенуаторы и эквиваленты нагрузок) мощностью от 50 до 500 Вт производства АО «НПО «ЭРКОН» позволяют полноценно заменить аналоги ведущих мировых производителей в задачах измерений, настройки и эксплуатации высокочастотного оборудования.

Характеристики поглотителей представлены на официальном сайте www.erkon-nn.ru. По вопросам разработки и изготовления поглотителей, отличающихся от приведённых, обращаться по приведённым на сайте контактам.

Литература

1. Компания АО «НПО «ЭРКОН» // URL: <https://www.erkon-nn.ru/> (дата обращения: 14.12.2021).
2. Weinschel Associates Company // URL: <https://www.weinschelassociates.com/> (дата обращения: 14.12.2021).
3. API Technologies Company // URL: <https://www.apitech.com/> (дата обращения: 14.12.2021).
4. Pasternack Company // URL: <https://www.pasternack.com/> (дата обращения: 14.12.2021).



НОВОСТИ МИРА

ERICSSON РАССМАТРИВАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫПУСКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕТЕЙ 5G в России

Источник сообщил, что компания Ericsson изучает возможность локализации производства базовых станций 5G в России. Как утверждает, шведский производитель телекоммуникационного оборудования рас-

сматривает два варианта: сотрудничество с GS Group на производственной площадке в Калининграде и запуск собственного завода.

Ранее локализацию производства в России начал другой крупный производитель телекоммуникационного оборудования, финская компания Nokia. Она пошла по пути создания совместного предприятия,

в котором с российской стороны участвует производитель вычислительной техники Yadro. СП построят в Дубне завод, который будет выпускать базовые станции 4G и 5G.

Местное производство базовых станций могли бы также развернуть китайские компании ZTE и Huawei, но конкретной информации об их планах пока нет.

ixbt.com



ЧИТАЙТЕ, КАК ВАМ УДОБНО



ПЕЧАТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ВЕРСИИ ЖУРНАЛА

ЖУРНАЛ С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

**СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

ПОДПИСКА
НА ЖУРНАЛ

онлайн: www.soel.ru • +7 495 232-0087 • info@soel.ru
на почте: по каталогу «Урал-пресс» (индекс для печатной версии 36280)

НЧ-генератор синусоидальных сигналов с 12 фиксированными частотами

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

В статье описан генератор гармонических колебаний на 12 фиксированных частот в диапазоне 20 Гц...20 кГц с регулируемой амплитудой до 1,5 В, что во многих случаях достаточно для проверки и диагностики аудиоаппаратуры. Генератор сконструирован на базе ОУ ОРА2134 и миниатюрной лампы накаливания CMH6-20-1. Отличительная особенность генератора – стабильность амплитуды и низкие искажения синусоидального сигнала. Для питания генератора использован также описанный в статье миниатюрный двуполярный источник питания (ИП) со стабилизированными напряжениями $\pm 3,5$ В.

Введение

Для настройки аудиоустройств (предварительный усилитель, УМЗЧ и т.п.) требуется генератор синусоидального сигнала, работающий в звуковом диапазоне частот (20 Гц...20 кГц) с возможностью плавного изменения амплитуды от 0 до 1,5 В и имеющий достаточно низкие искажения. Если для настройки устройств, работающих с входным аудиосигналом (например, предварительный усилитель), требуются амплитуды не более 0,3 В (максимальное значение

амплитуды стандартного входного аудиосигнала), то для настройки, например, УМЗЧ требуется входной сигнал, максимальное значение которого, как правило, не превышает 1,5 В. НЧ-генераторы, выпускаемые промышленностью, если их применять для подобных целей, обладают существенной избыточностью: во-первых, их диапазон частот намного шире звукового, во-вторых, амплитуда их выходного сигнала также намного превышает 1,5 В. Кроме того, эти генераторы выпускаются с уже встроенным

источником питания (ИП) и, в связи с этим, в достаточно габаритных корпусах. В итоге стоимость подобных генераторов довольно высока (от 5000 руб. и выше).

В то же время подобный генератор можно сконструировать и своими силами. Такой генератор не обладает вышеуказанной избыточностью, в связи с чем он миниатюрнее, а его стоимость на порядок меньше заводского.

В [1] описан генератор синусоидальных сигналов трёх фиксированных частот (20 Гц, 1 кГц и 20 кГц), сконструированный на базе ОУ TL072. Однако, как показала практика, этот генератор не лишён некоторых недостатков.

Во-первых, при настройке радиоаппаратуры, работающей в звуковом диапазоне частот (предварительный усилитель, УМЗЧ и т.п.), часто требуется проверить равномерность её АЧХ во всем диапазоне, в связи с чем трёх частот явно недостаточно, или, другими словами, может потребоваться настройка и на промежуточных частотах (между 20 Гц и 1 кГц и между 1 кГц и 20 кГц). В описываемом в статье генераторе количество фиксированных частот увеличено до 12, поэтому настройка тестируемых устройств может проводиться более адекватно.

Во-вторых, выходной каскад генератора, описанного в [1], можно существенно улучшить (см. далее).

В-третьих, как показала практика, при использовании ОУ общего применения TL072 (как в [1]) генератор устойчиво работает в очень узком диапазоне напряжений питания (приблизительно $\pm 8... \pm 9$ В). И даже в этом диапазоне требуется достаточно тщательная регулировка его режима работы, чтобы искажения были минимальны. Если же тестируемое устройство требует иные напряжения питания, отличные от $\pm 8... \pm 9$ В, то для него необходим дополнительный ИП, что не всегда удобно. Применённый в описываемом генераторе прецизионный ОУ ОРА2134, имеющий сверхнизкие искажения (Ultra Low Distortion), достигающие 0,00008% (правда, при некоторых условиях), существенно улучшает качество выходного сигнала генератора. Кроме того, с этим ОУ генератор рабо-

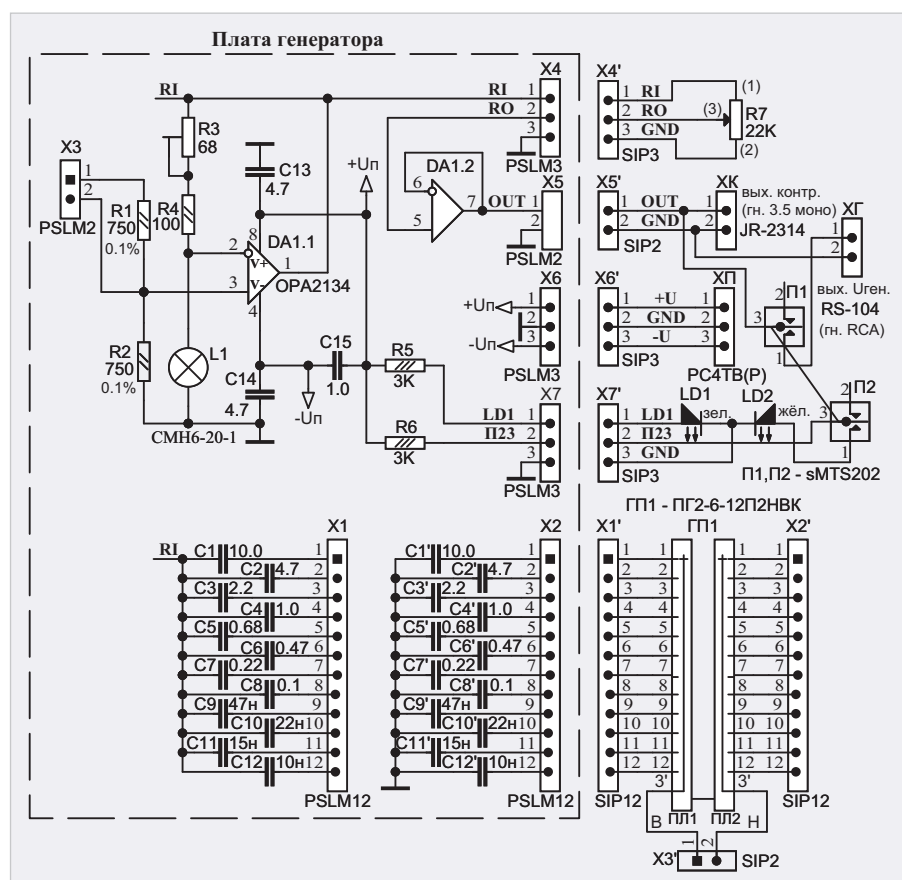


Рис. 1. Принципиальная схема генератора

тает в более широком диапазоне напряжений питания (см. далее).

И наконец, в-четвёртых, регулируемый ИП, использующийся в [1] для питания генератора, обладает избыточностью (например, его мощность на порядок больше требуемой, и, кроме того, регулировка выходного напряжения ИП не требуется – см. далее). Для питания генератора можно также использовать регулируемый ИП, описанный в [2], но и он также обладает вышеуказанной избыточностью. А эта избыточность приводит к относительно большим габаритам (и весу) вышеуказанных ИП, что не всегда удобно.

Миниатюрный ИП, описанный в настоящей статье и применённый для питания генератора, сконструирован на относительно новой элементной базе и, несмотря на свою миниатюрность, по мощности в 4 раза больше требуемой, т.е. имеет 4-кратный запас по мощности. Кроме того, размах пульсации стабилизированных напряжений этого ИП (не более 1 мВ) несколько ниже размаха пульсаций ИП, описанных в [1] и [2].

Таким образом, дальнейшее изложение будет построено следующим образом.

Вначале будут приведены принципиальные схемы генератора и ИП, затем – разводка и внешний вид их плат. Далее будут показаны их конструкции и общий вид в сборе. В конце статьи приведены результаты работы генератора.

Принципиальные схемы

Схема генератора (рис. 1) представляет собой генератор Вина-Робинсона на сдвоенном ОУ ОРА2134 (DA1) с миниатюрной лампой накаливания СМН6-20-1 (L1), служащей для стабилизации амплитуды его выходного сигнала. С помощью резисторов R3 и R4 лампа вводится в оптимальный режим работы, при котором генератор имеет минимальные искажения синусоидального сигнала. Конденсаторы C13–C15 – блокировочные; они положены в штатном режиме работы ОУ DA1. Резисторы R1 и R2 совместно с конденсаторами C1–C12 и C1'–C12' соответственно образуют RC-цепочки, определяющие частоты работы генератора. Переключение частот осуществляется галетным переключателем ПГ2-6-12П2НВК (ПП1) на 12 положений и 2 направления. Конденсаторы C1–C12 своим одним концом подключены к разъёму X1 (цанговые штыри с шагом 2,54 мм – PSLM12), а вторые их концы объединены и подключены к выходу ОУ DA1.1 (1-й вывод) – сигнал RI. Конденсаторы

C1'–C12' своим одним концом подключены к разъёму X2, аналогичному разъёму X1, а вторые их концы объединены и заземлены. К разъёмам X1 и X2 подключаются кабели, на одном конце которых расположены ответные цанговые гнезда X1' и X2' (SIP12), а вторые их концы подключены к галетному переключателю ПП1. Выходные сигналы ПП1 (выводы 3' платы 1 ПП1 и 3' платы 2 ПП1) подключены к кабелю, на втором конце которого расположен двухконтактный разъём X3' (гнезда SIP2), подключаемый к разъёму X3 (штыри PSLM2) платы. В первом положении ПП1, как видно из схемы, между верхним по схеме выводом R1 и выходом ОУ DA1.1 (сигнал RI) оказывается подключён конденсатор C1 (10 мкФ), а конденсатор C1' (также 10 мкФ) оказывается подключён между точкой соединения R1 и R2 и «землёй». В этом случае генерируется сигнал самой низкой частоты – около 20 Гц. В 12-м положении ПП1 к контактам X3 подключаются конденсаторы C12 и C12' номиналом 10 нФ, и генерируется самая высокая частота – около 20 кГц.

Для регулировки амплитуды выходного сигнала (от 0 до 1,5 В) служит переменный резистор R7 (СП5-35Б), построенный по груботочной схеме: в нём используются два соосных резистивных элемента, что позволяет достаточно точно регулировать амплитуду. Этот резистор подключён к одному концу кабеля, на втором конце которого расположен разъём SIP3 (X4'). Этот разъём подключается к разъёму PSLM3 (X4) платы. Таким образом, резистор R7 является нагрузкой ОУ DA1.1, а его движок (3-й вывод R7) подключён к неинвертирующему входу ОУ DA1.2, на котором собран повторитель напряжения. Выход DA1.2 (7-й вывод) обладает существенно большей нагрузочной способностью, чем выходной сигнал в схеме выходного каскада генератора, описанного в [1] (470 Ом – рис. 2). Выходной сигнал генератора (сигнал OUT) подключён к двухконтактному разъёму PSLM2 (X5 платы). К этому разъёму подключён ответный разъём SIP2 (X5') кабеля, ко 2-му концу которого подключён разъём XK (JR-2314 – гнездо моно 3,5) и параллельно через переключатель П1 – разъём RS-104 (гнездо RCA). Разъём XK – контрольный; к нему подключается осциллограф для контроля выходного сигнала генератора, поскольку на этом разъёме сигнал генератора присутствует всегда. А вот на разъём XГ сигнал генератора подаётся только после включения переключателя П1. К разъёму XГ подключает-

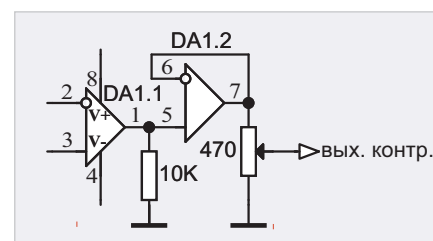


Рис. 2. Схема выходного каскада генератора [1]

ся вход тестируемого устройства. Таким образом, на вход тестируемого устройства подается предварительно настроенный по осциллографу сигнал генератора после включения переключателя П1. Для индикации наличия питания и наличия сигнала на разъёме XГ служат два светодиода: соответственно зелёный и жёлтый (LD1 и LD2). Светодиод LD1 постоянно подключён к кабелю, на втором конце которого расположен разъём SIP3 (X7'), а светодиод LD2 подключается к X7' через вторую группу контактов (П2) переключателя SMTS202 (тумблер на 2 положения с 2 группами контактов). Разъём X7' подключается к разъёму X7 платы. Резисторы R5 и R6 – токоограничивающие для соответствующих светодиодов. Питание на плату (+Uп, –Uп и «земля») поступает с разъёма X6 (PSLM3). К этому разъёму подключается кабель, на одном конце которого расположен ответный разъём X6' (SIP3), на втором конце – разъём XП (PC4TB(P) – розетка), который подключается к ответному разъёму ИП PC4TB(B) – вилка (см. далее).

Все постоянные резисторы и конденсаторы (керамические) – для поверхностного монтажа размером 0603. Резистор R3 – миниатюрный подстроечный многооборотный резистор марки 3266Y. ОУ DA1 – в корпусе DIP8. Вместо галетного переключателя ПГ2-6-12П2НВК можно использовать ПГ39-2В или импортный RCL371-2-2-12. Они тоже на 12 положений и 2 направления, несколько дешевле, но больше по размеру (особенно RCL371-2-2-12).

Потребление тока генератора при его питании напряжениями $\pm 3,5$ В составляет не более 25 мА при всех включённых светодиодах. Это минимальное напряжение питания, при котором сигналы генератора синусоидальны на всех без исключения частотах. Как видно из схемы рис. 1, она достаточно проста, поэтому легко разводится и достаточно миниатюрна (см. далее).

Для питания генератора использован миниатюрный стабилизированный ИП (рис. 3) с выходными напряжениями $\pm 3,5$ В и максимальным током

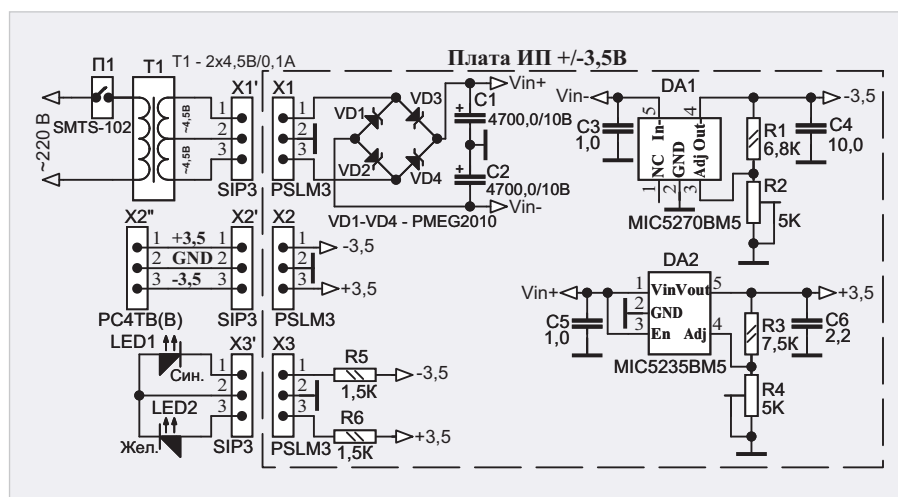
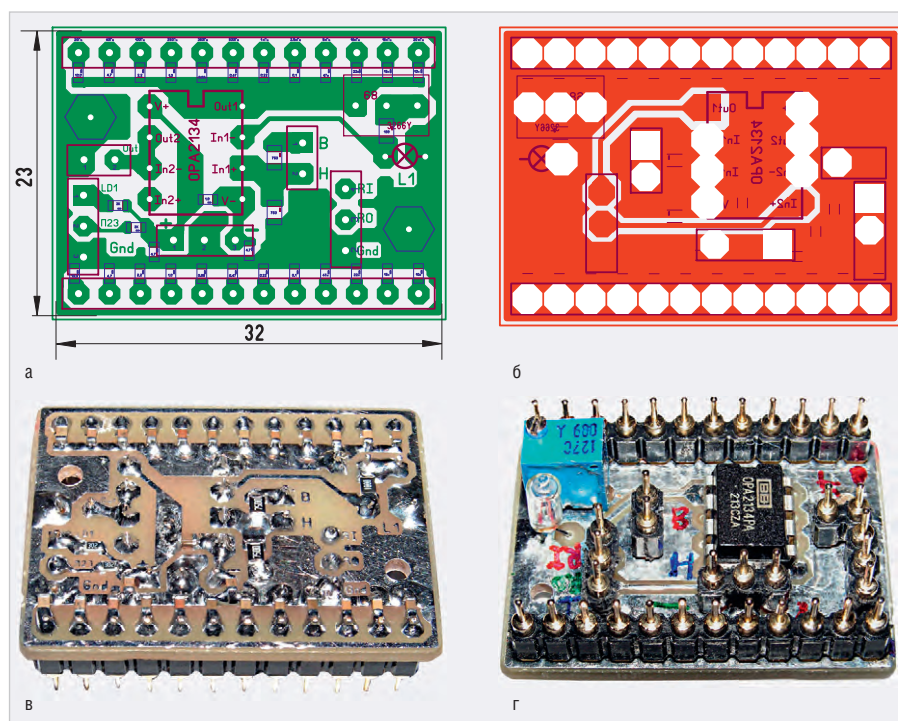
Рис. 3. Принципиальная схема ИП $\pm 3,5$ В

Рис. 4. Разводка и внешний вид платы генератора со стороны компонентов для поверхностного (а, в) и навесного (б, г) монтажа

100 мА, что в 4 раза превосходит потребление тока генератором (25 мА – см. выше). Мостовой выпрямитель со средней точкой выполнен на миниатюрных диодах Шоттки PMEG2010 (VD1–VD4) в корпусе SOD323F (SC-90) размером 1,8×1,3 мм с максимальным током 1 А, максимальным обратным напряжением 20 В и падением напряжения 0,3 В при токе 100 мА (и 0,25 В при токе 25 мА). Конденсаторы C1 и C2 – сглаживающие электролитические. Для получения стабилизированных напряжений $-3,5$ и $+3,5$ В использованы миниатюрные регулируемые стабилизаторы с низким падением напряжения (Low Drop Out – LDO) MIC5270BM5 (DA1) и MIC5235BM5 (DA2) с максимальным током 100 мА и 150 мА

и с максимальным (по абсолютному значению) входным напряжением 16 В и 24 В соответственно. Настройка выходных напряжений $-3,5$ и $+3,5$ В осуществляется подстроечными резисторами R2 и R4 соответственно, входящими в состав делителей напряжения R1R2 и R3R4. Конденсаторы C3–C6 положены по штату работы соответствующих стабилизаторов. Входное переменное напряжение ($2 \times \sim 4,5$ В) подается на плату с разъема X1 (PSLM3). К этому разъему одним концом (разъемом X1' – SIP3) подключен кабель, второй конец которого подключен к двум вторичным обмоткам ($2 \times \sim 4,5$ В под нагрузкой) миниатюрного тороидального трансформатора с максимальным током 100 мА размером (D/H)

33×25 мм. Трансформатор подключается к сети ~ 220 В слаботочным двухжильным сетевым кабелем ШВВП-М сечением каждой жилы по 0,20 мм², рассчитанным на напряжение до 300 В, с помощью тумблера SMTS-102-2A2 (П1) с одной группой контактов на 2 положения, рассчитанного на напряжение 250 В и ток до 1,5 А.

Выходные стабилизированные напряжения ($\pm 3,5$ В) подаются на разъем X2 (PSLM3) платы. К этому разъему одним концом с ответным разъемом SIP3 (X2') подключается кабель, ко второму концу которого подключен разъем PC4TB(B) – вилка (X2''). К этому разъему подключается кабель питания генератора.

Для индикации наличия выходных напряжений $-3,5$ В и $+3,5$ В использованы светодиоды соответственно синего (LED1) и желтого (LED2) цвета свечения, которые подключены к кабелю, ко второму концу которого подключен разъем SIP3 (X3'). Этот разъем вставляется в ответный разъем PSLM3 (X3 платы). Резисторы R5 и R6 – токоограничивающие для светодиодов.

Постоянные резисторы и конденсаторы C3–C6 (керамические) типоразмера 0603 для поверхностного монтажа. Резисторы R2, R4 – миниатюрные подстроечные для поверхностного монтажа 3223W размером 3×4 мм и высотой 4 мм. Микросхемы MIC5270BM5 (DA1) и MIC5235BM5 (DA2) в корпусе SOT23-5. Это микросхемы производства компании MICREL, которая некоторое время назад вошла в состав компании MICROCHIP. Здесь необходимо заметить, что если помимо регулируемого LDO стабилизатора положительного напряжения MIC5235BM5 можно найти аналогичные или похожие других (кроме MICREL) производителей, то регулируемого LDO стабилизатора отрицательного напряжения (кроме MIC5270BM5) с входным напряжением до 14 В и выходным током до 100 мА в корпусе SOT23-5 других компаний автору найти не удалось.

Здесь необходимо добавить, что генератор работоспособен не только при напряжениях питания $\pm 3,5$ В. Это минимальные напряжения с некоторым запасом (при напряжениях $\pm 3,2... \pm 3,3$ В начинают уже проявляться искажения синусоиды – в основном обрезаются её минимумы, а верхушки остаются). Автор проверял работоспособность генератора с помощью ИП, описанного в [2], при напряжениях питания от $\pm 3,5$ до ± 16 В. В этом диа-

диапазоне напряжений питания генератор идеально работает и никаких искажений обнаружено не было. Это позволяет использовать этот ИП, если тестируемое устройство имеет напряжения питания, отличные от $\pm 3,5$ В. В этом случае генератор подключается к дублирующему напряжения разъёму РС4ТВ(В), а тестируемое устройство – к клеммам ИП (см. [2]).

Настройка генератора

Настройка генератора в основном сводится к подбору лампы накаливания. Наилучшие результаты как по стабильности генерации, так и по качеству сигнала для всех частот показала миниатюрная лампа СМН6-20-1 (с номинальным напряжением 6 В и током 20 мА). Здесь необходимо особо отметить, что эти лампы имеют очень большой разброс по сопротивлению в холодном состоянии: приблизительно от 28 до 45 Ом. Оптимальные результаты (как по стабильности амплитуды, так и по «идеальности» синусоиды) получены при сопротивлениях ламп в диапазоне от 30 до 35 Ом. Измерять сопротивление ламп в холодном состоянии нужно только цифровым тестером из-за малого тока, который он пропускает через резистор для измерения его сопротивления. Стрелочный тестер для таких измерений не годится. Например, если попытаться измерить сопротивление лампы стрелочным тестером ТЛ-4 на диапазоне 1 Ом, то через лампу потечёт такой ток, что она загорится (это можно очень легко увидеть), и её сопротивление, естественно, возрастёт до 100 Ом и более.

В схеме рис. 1 измеренное сопротивление лампы L1 в холодном состоянии составило 32,6 Ом. Поскольку сейчас стоимость лампы СМН6-20-1 не превышает 2–3 руб./шт, имеет смысл приобрести с десяток таких ламп и выбрать из них одну с необходимым сопротивлением (автор в своё время приобрёл 50 таких ламп ещё по стоимости 1 руб./шт).

Помимо выбора лампы, возможна некоторая подстройка генератора вращением резистора R3.

Разводка и внешний вид плат

Разводка плат генератора и ИП сделана автором с помощью программы SprintLayout 6.0. Файл разводки в формате *.lay6b приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Рисунки разводки плат и их фотографии приведены на рис. 4 и 5. На рис. 4г можно увидеть лампу СМН6-20-1 (она расположена в левой

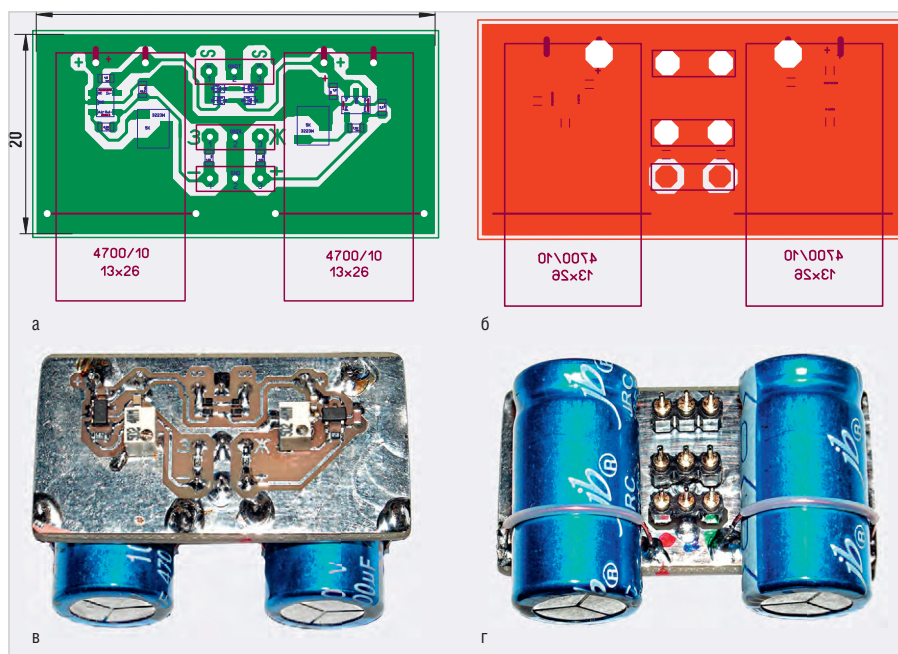


Рис. 5. Разводка и внешний вид платы ИП со стороны компонентов для поверхностного (а, в) и навесного (б, г) монтажа

части платы снизу от подстроечного резистора голубого цвета). Как можно убедиться, лампа не занимает много места на плате (размер колбы лампы (d/h) всего 3×6 мм). Тем не менее это настоящая лампа накаливания: у неё есть вольфрамовая спираль и даже специальный крючок, поддерживающий спираль, чтобы она не провисала при нагреве. Кроме того, как и у обычной лампы накаливания, из её колбы откачан воздух.

Конструкция и внешний вид устройств

Генератор собран в пластиковом корпусе размером 95×48×38 мм (G1068B) – рис. 6. Плата генератора прикручена к дну корпуса двумя винтами M2 вплой и гайками через пластиковые стойки высотой 3 мм. Кабель питания расположен на днище корпуса; он пропущен через резиновую втулку, прижимаемую к дну крышки корпуса, в которой сделано специальное углубление. Светодиоды в специальных оправках, галетный переключатель частот, тумблер, подключающий сигнал к разъёму RCA и зажигающий жёлтый светодиод, и переменный резистор, регулирующий амплитуду, расположены на верхней части крышки корпуса, а разъёмы (RCA и 3,5 моно) – на торце крышки. Обе половины корпуса скручены саморезами, входящими в комплект поставки корпуса.

Здесь необходимо добавить, что все 2- и 3-проводные кабели необходимо скрутить и закрепить от раскручивания, например, обмотав их тонкой фум-

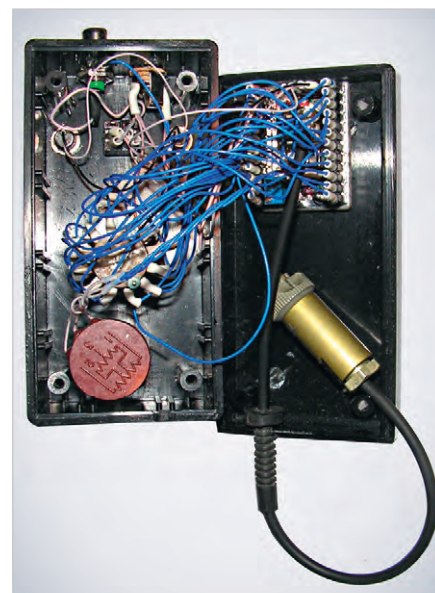


Рис. 6. Генератор в открытом корпусе

лентой или 2–3 полосками обычной изолянт. 12-проводные кабели также необходимо закрепить в 2–3 местах изолянт. Если этого не сделать и оставить всё так, как показано на рис. 6, то на некоторых частотах могут появиться искажения (в основном это может быть низкочастотная амплитудная модуляция). В связи с простотой процедуры фотография со скрученными кабелями не приводится. Таким образом, выполнение вышеуказанной процедуры является строго обязательным. В этом случае все сигналы генератора частотой, соответствующей положению галетного переключателя частот (ГП1, рис. 1), и амплитудой, соответствующей положению регулято-

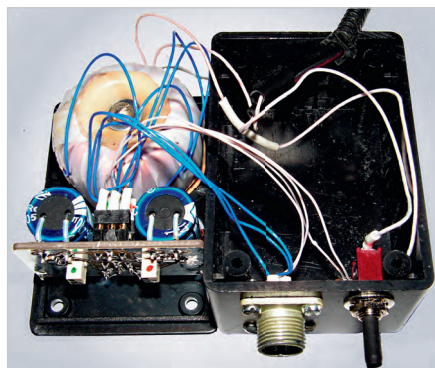


Рис. 7. ИП в открытом корпусе



Рис. 8. Общий вид подключённого к ИП генератора в сборе

ра амплитуды (R7, рис. 1), воспроизводящаяся идеально без каких-либо искажений.

ИП собран в пластиковом корпусе размером 64×44×32 мм (G1031B) – рис. 7. Трансформатор укреплен на днище корпуса. Для этого использована металлическая стойка с внутренней резьбой М3, которая прикручена к днищу корпуса винтом М3 впопай. Трансформа-

тор прикручен к стойке винтом М3 через специальную чашку. Между трансформатором и чашкой установлена резиновая прокладка чуть больше размера чашки, а между трансформатором и днищем корпуса также установлена резиновая прокладка по размеру трансформатора. Эти две прокладки вырезаны из резинового бинта толщиной 0,5 мм. Сетевой кабель пропущен через резиновую втулку, которая прижимается крышкой с углублением к днищу корпуса. Плата ИП укреплена вертикально. Разъём с выходными напряжениями и тумблер, включающий питание, расположены на торце крышки, а светодиоды в специальных оправках – на верхней части крышки. Обе половины корпуса скручиваются саморезами, которые поставляются вместе с корпусом.

После подключения кабеля питания генератора к ИП и включения тумблера на ИП генератор включается в работу (рис. 8).

Для определения переключателя определённым частотам, на бумаге был распечатан «лимб», который был вырезан и приклеен на верхнюю поверхность корпуса генератора (вокруг клавиша переключателя). В дополнительных материалах к статье этот лимб приведён в масштабе 1:1 в формате *.pdf.

Результаты работы генератора

На рис. 9–11 приведены осциллограммы сигналов генератора (жёлтого цвета) и их спектры, подсчитанные по БПФ (fast Fourier transform – FFT), сиреневого цвета. На всех осциллограммах амплитуда сигналов установлена равной 1 В, т.е. размах от пика до пика, равный двойной амплитуде, составляет 2 В (надпись внизу в середине жёлтого цвета «Vpp(1) = 2.00V»). Разрешение по вертикали для всех осциллограмм составляет 500 мВ/деление (надпись «500mV» в левом нижнем углу жёлтого цвета).

Осциллограммы приведены в области низких (рис. 9), средних (рис. 10) и высоких (рис. 11) частот. Разрешение по горизонтали у всех осциллограмм разное, поскольку на них показаны сигналы 7 различных частот. Это разрешение указано в нижней правой части осциллограмм надписью светло-серого цвета «Time ...». Например, разрешение по горизонтали на рис. 9а составляет 10 мс/деление (надпись «Time 10.00ms»). Также в правой нижней части осциллограмм указана частота в Гц или кГц – надпись жёлтого цвета «Freq(1) = ...». Например, частота на рис. 9а составляет 25,38 Гц (надпись «Freq(1) = 25.38Hz»). Действующее значение напряжения сигнала (V_{RMS}) показано в левой нижней части осциллограмм надписью жёлтого цвета «V_{RMS}(1) = ...». Например, действующее значение напряжения на рис. 9а равно 705 мВ («V_{RMS}(1) = 705mV»). На всех осциллограммах автором установлена такая развёртка, чтобы на экране уместилось как минимум 2 периода сигнала.

Для определения синусоидальности сигнала используют отношение действующего значения напряжения (V_{RMS}) к среднему за полупериод (V_{CP}), называемое коэффициентом формы K_F . Для чистой синусоиды $K_F = 1,11$. Иногда синусоидальность оценивают отношением амплитудного значения (V_{AMP}) к действующему (V_{RMS}). Коэффициент $K_A = V_{AMP}/V_{RMS}$ называют коэффициентом амплитуды. Для чистой синусоиды V_{AMP} больше V_{RMS} в $\sqrt{2}$ раз, т.е. $K_A = \sqrt{2}$ ($\approx 1,414$).

В таблице приведены значения V_{AMP} и V_{RMS} , взятые из осциллограмм рис. 9–11. Там же подсчитаны коэффициент амплитуды K_A и его относительная погрешность в % по сравнению с числом $\sqrt{2}$. Как видно из табл. 1, максимальная погрешность, или, другими словами, «несинусоидальность» сигналов генератора не превышает 1 %.

Здесь необходимо добавить, что сами значения V_{AMP} и V_{RMS} подсчитаны (осциллографом) также с некоторой ошибкой. Эта ошибка определяется дискретностью (ступенчатостью) воспроизведения сигнала цифровым осциллографом, что легко увидеть на любой осциллограмме (рис. 9–11). Однако если посмотреть на осциллограмму сигнала генератора на обычном аналоговом осциллографе, то там синусоида абсолютно гладкая.

Кроме того, если посмотреть на спектры сигналов (сиреневого цвета, рис. 9–11), то можно обнаружить сле-

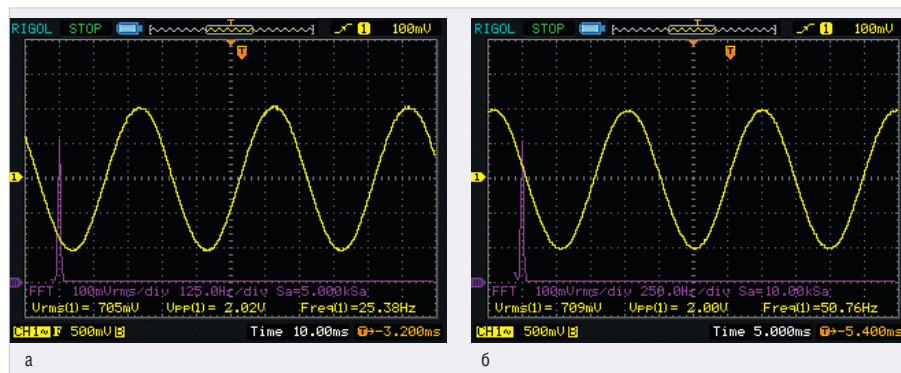


Рис. 9. Осциллограммы сигналов генератора амплитудой 1 В в НЧ-области частот: а – 25 Гц, б – 50 Гц

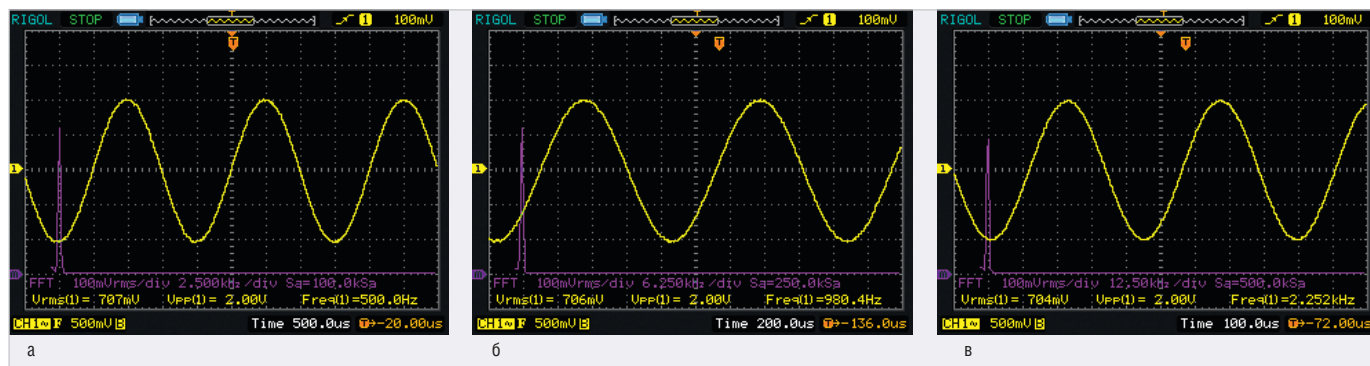


Рис. 10. Осциллограммы сигналов генератора амплитудой 1 В в СЧ-области частот: а – 500 Гц, б – 1 кГц, в – 2,2 кГц

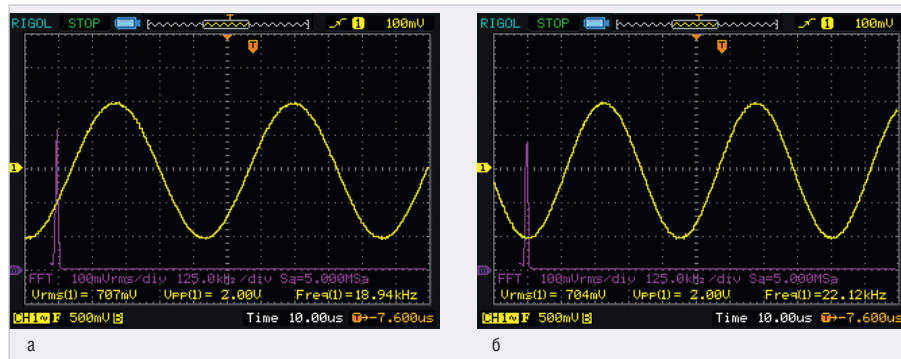


Рис. 11. Осциллограммы сигналов генератора амплитудой 1 В в ВЧ-области частот: а – 18 кГц, б – 22 кГц

Таблица. Относительные ошибки коэффициента амплитуды DK_A [%]

Частота	V_{AMP} [мВ]	V_{RMS} [мВ]	$KA = V_{AMP}/V_{RMS}$	$DKA = 100 \times KA - \sqrt{2} /\sqrt{2}$
25 Гц	1000	705	1,418	0,31
50 Гц	1000	709	1,410	0,25
500 Гц	1000	707	1,414	0,03
1 кГц	1000	706	1,416	0,17
2,2 кГц	1000	704	1,420	0,46
19 кГц	1000	707	1,414	0,03
22 кГц	1000	704	1,420	0,46

дующее. Во-первых, в спектрах имеется единственный пик на основной частоте. Никаких других пиков в спектрах больше нет, а пик достаточно узок. Во-вторых, в спектрах отсутствуют какие-либо боковые лепестки (как, например, у спектра прямоугольного меандра). Всё это показывает, что сигнал достаточно близок к синусоидальному.

Заключение

Описанный генератор, на взгляд автора, лёгок, компактен, достаточно удобен для настройки аудиоустройств и несложен в изготовлении своими силами. Автор рекомендует его для использования.

Литература

1. Кузьминов А. Ю. Электронные устройства. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2021.
2. Кузьминов А. Применение мощного ОУ LM1875Т в новых (не аудио) приложениях // Современная электроника. 2021. № 7. С. 40–44.

НОВОСТИ МИРА

Европе не под силу достичь микропроцессорного суверенитета

Когда в начале 2021 г. Еврокомиссии был официально представлен план развития европейской полупроводниковой индустрии – 2030 Digital Compass, авторы соответствующего доклада смотрели в будущее довольно оптимистично. Теперь же, под конец года, один из этих авторов, ныне комиссар по вопросам состязательности Маргрет Вестагер (Margrethe Vestager), настроена значительно менее позитивно. В интервью корреспонденту CNBS комиссар заявила: «Сумма, о которой я слышала, объём прямых инвестиций, который обеспечил бы полный суверенитет в этом плане, – она делает задачу нереальной».

Речь идёт о сумме примерно в 150 млрд долл. США – примерно столько, по свежим оценкам европейских экспертов, необходимо, чтобы от нынешнего уровня развития полупроводниковой индустрии в ЕС перейти к полному самообеспечению всеми необходимыми союзу чипами. Более того, даже если желающие вложить такие деньги в развитие европейских чипмейкеров и найдутся, не факт, что построенные в итоге фабрики сумеют выпускать конкурентоспособную продукцию. Мировые лидеры индустрии полупроводников – Intel, Samsung, TSMC – не только имеют уже значительную фору, но и в совокупности инвестируют в дальнейшее развитие своих технологий около 30 млрд долл. ежегодно, что делает задачу догнать и пе-

регнать их (да хотя бы даже поравняться) чрезвычайно сложной.

Если в 1990-х страны, составляющие ныне Евросоюз, выпускали около 40% всех потреблявшихся в них полупроводников, то сегодня эта доля не превышает 10%. И наиболее реалистичная цель плана 2030 Digital Compass, не подразумевающая столь заоблачных по размерам инвестиций, – к 2030-му увеличить эту долю хотя бы вдвое. Напомним, что в ЕС нет предприятий, которые выпускали бы смартфоны или ПК. Но Евросоюз не надеется достичь микропроцессорного суверенитета даже в области СБИС для оснащения автомобилей, умных станков, бытовой электроники и прочих товаров, традиционно не относившихся к разряду ИТ.

itbestsellers.ru

Работа с последовательным интерфейсом SPI в программной среде Proteus 8.11.

Часть 2

Татьяна Колесникова (beluikluk@gmail.com)

В статье рассматривается проектирование схем микроэлектронных устройств с использованием интерфейса SPI в Proteus на примере его реализации в микроконтроллерах AVR (семейства Mega) и STM32 (семейства Cortex-M3). Описаны особенности написания программного кода для инициализации интерфейса и работы с ним, а также моделирования схем, в которых проводится передача данных через SPI между двумя и тремя устройствами, сконфигурированными как master и slave. Выполнено отображение принятых ведомым устройством данных на экране виртуального терминала. С помощью осциллографа проведён контроль входных/выходных сигналов, присутствующих на выводах устройств схемы.

Передача данных через интерфейс SPI между тремя микроконтроллерами Cortex-M3

Рассмотрим процесс передачи данных через интерфейс SPI между несколькими микроконтроллерами Cortex-M3 на примере микросхем STM32F103C4, для чего создадим в Proteus новый схемный проект и доба-

вим в рабочее поле три таких микросхемы, два светодиода, два резистора (100 Ом), два символа «земли». При этом микросхема DD1 будет выполнять роль ведущего микроконтроллера, а микросхемы DD2 и DD3 – роль ведомых. Соединим компоненты, как показано на рис. 14, и напомним на языке программирования С программный

код управления передачей данных. Необходимо отметить, что программа инициализации пишется как для ведущего, так и для обоих ведомых микроконтроллеров.

Задачей мастера будет послать управляющий сигнал (кодovou комбинацию) сначала первому ведомому устройству, а затем второму. Переключение между ведомыми устройствами выполняется путём установки ведущим микроконтроллером логической единицы на линии NSS (PA4) ведомых микроконтроллеров. При этом при передаче данных по интерфейсу SPI между тремя микроконтроллерами в нашем примере этот сигнал выдаётся на линии PA0, PA1 порта PA ведущего микроконтроллера. Задача каждого ведомого устройства – принять кодovou комбинацию, после чего запустить цикл, в котором выполняется последовательное включение и выключение светодиода.

Для удобства соединения в рабочей области проекта отразим по горизонтали микросхему DD1. В окне настроек Edit Component для каждого микроконтроллера в поле Crystal Frequency установим частоту работы 2 МГц. Кнопкой Hidden Pins для каждого микроконтроллера откроем окно Edit Hidden Power Pins, где выполним согласование скрытых выводов питания и цепей питания.

Напишем на языке программирования С следующий код программы инициализации для ведущего микроконтроллера DD1:

```
#include <stm32f1xx.h> // подклю-
чение заголовочного файла

void delay (int dly) // подпро-
грамма формирования задержки
{ int i;
  for( ; dly>0; dly--)
    for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() // начало программы
{ RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
SPI1EN; // включаем тактирование
SPI1
```

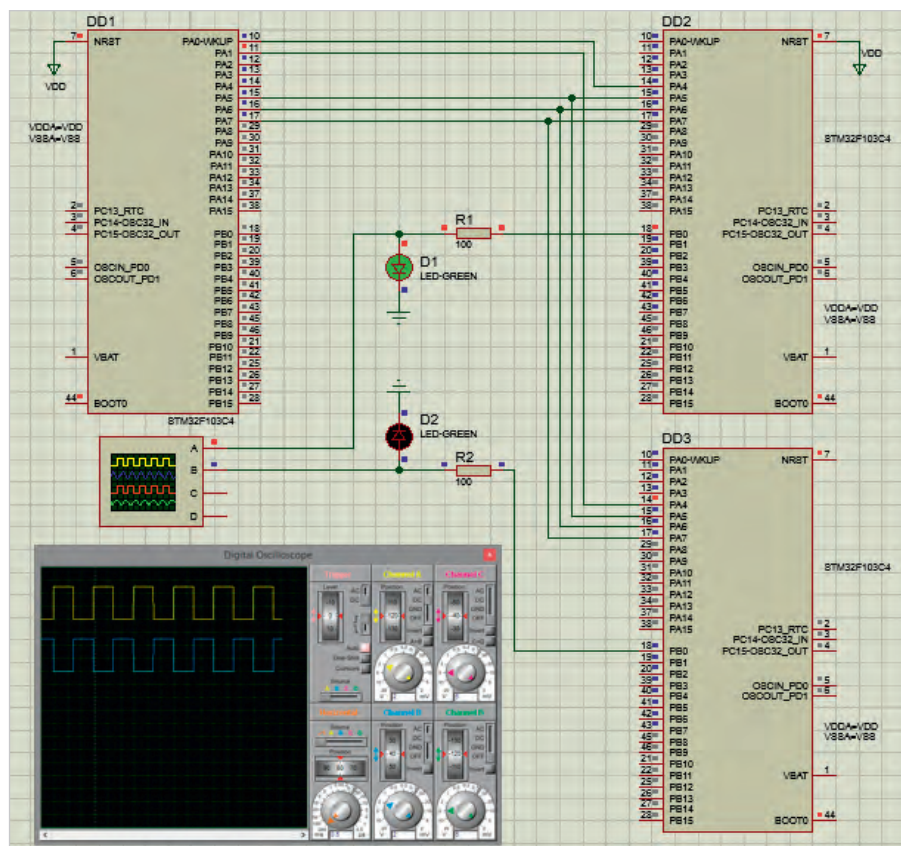


Рис. 14. Моделирование передачи данных между тремя микроконтроллерами STM32F103C4 через интерфейс SPI в программной среде Proteus

```

// подсоединение линий порта PA
к шине APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
IOPAEN;

// настройка линий PA5 (SCK), PA6
(MISO), PA7 (MOSI), PA0-PA4
// порта PA ведущего микрокон-
троллера
// биты CNF5, CNF7 = 10 (цифро-
вой выход с альтернативной функ-
цией),
// биты MODE5, MODE7 = 11 (вывод
данных с частотой переключения 50
МГц),
// биты CNF6 = 10 (вход с подтя-
гивающим резистором),
// биты MODE6 = 00 (приём данных),
// биты CNF0-CNf4 = 00 (цифро-
вой выход),
// биты MODE0-MODE4 = 11 (вывод
данных с частотой переключения
50 МГц)
GPIOA->CRL = 0xb8b33333;

// конфигурация SPI1
SPI1->CR1 = (0<<11) // формат
кадра данных 8 бит
| (0<<7) // направление передачи
младшим разрядом вперёд
| (1<<9) // включаем программное
управление сигналом NSS
| (1<<8) // NSS в высоком состо-
янии
| (1<<5)|(0<<4)|(0<<3) // ско-
рость передачи данных: F_PCLK/32
| (1<<2) // режим работы Master
(ведущий)
| (0<<1)|(0<<0) // полярность (0)
и фаза тактового сигнала (0)
| (1<<6); // включаем SPI

// выбираем для передачи данных
по SPI
// первый ведомый микроконтрол-
лер (лог. 1 на линии PA0)
GPIOA->ODR=(1<<0)|(0<<1);
while(!(SPI1->SR & SPI_SR_TXE)) {
} // после установки в 1 флага TXE
регистра SPI1_SR

// отправляем кодовую комбинацию
для первого ведомого микроконтрол-
лера
SPI1->DR = 0b11111110; delay(10);
// выбираем для передачи данных
по SPI
// второй ведомый микроконтрол-
лер (лог.1. на линии PA1)
GPIOA->ODR=(0<<0)|(1<<1);
while(!(SPI1->SR & SPI_SR_TXE)) {
} // после установки в 1 флага TXE
регистра SPI1_SR

```

```

// отправляем кодовую комбинацию
для второго ведомого микроконтрол-
лера
SPI1->DR = 0b11111110; delay(10);
}

Для ведомого микроконтроллера DD2
был написан следующий код програм-
мы инициализации:

#include <stm32f1xx.h> // подклю-
чение заголовочного файла

void delay (int dly) // подпро-
грамма формирования задержки
{ int i;
for(; dly>0; dly--)
for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() { // начало программы
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
SPI1EN; // включаем тактирование
SPI1
// подсоединение линий порта PA
к шине APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
IOPAEN;
// подсоединение линий порта PB
к шине APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
IOPBEN;

// настройка линий PA4 (NSS), PA5
(SCK), PA6 (MISO), PA7 (MOSI), PA0-
PA3
// порта PA первого ведомого
микроконтроллера
// биты CNF4, CNF5, CNF7 = 10
(вход с подтягивающим резистором),
// биты MODE4, MODE5, MODE7 = 11
(приём данных),
// биты CNF6 = 10 (цифровой выход
с альтернативной функцией),
// биты MODE6 = 00 (вывод данных
с частотой переключения 50 МГц),
// биты CNF0-CNf3 = 00 (цифро-
вой выход),
// биты MODE0-MODE3 = 11 (вывод
данных с частотой переключения 50
МГц)
GPIOA->CRL = 0x8b883333;
// настройка линий PB0-PB7 пор-
та PB первого ведомого микрокон-
троллера
// биты CNF0-CNf7 = 00 (цифро-
вой выход),
// биты MODE0-MODE7 = 11 (вывод
данных с частотой переключения
50 МГц)
GPIOB->CRL = 0x33333333;

// конфигурация SPI1

```

```

SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); //
включаем SPI, режим работы Slave
(ведомый)

while (1) // бесконечный цикл
{ while(!(SPI1->SR & SPI_SR_
RXNE)) { } // ждём данные в буфере
приёмника SPI
if (SPI1->DR !=0b11111110) //
если кодовая комбинация не получена
GPIOB->ODR= (0<<0) ; // посылаем
на линию PB0 порта PB лог.0
else if (SPI1->DR==0b11111110)
// если кодовая комбинация полу-
чена
{ while (1) // бесконечный цикл
{GPIOB->ODR=(1<<0); // включить
светодиод D1
delay(10); // задержка
GPIOB->ODR=(0<<0); // погасить
светодиод D1
delay(10); }}}

Код программы инициализации для
ведомого микроконтроллера DD3:

#include <stm32f1xx.h> // подклю-
чение заголовочного файла

void delay (int dly) // подпро-
грамма формирования задержки
{ int i;
for(; dly>0; dly--)
for ( i=0; i<10000; i++); }

int main() { // начало программы
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
SPI1EN; // включаем тактирование
SPI1
// подсоединение линий порта PA
к шине APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
IOPAEN;
// подсоединение линий порта PB
к шине APB2
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_
IOPBEN;
// настройка линий PA0-PA7 пор-
та PA второго ведомого микрокон-
троллера
GPIOA->CRL = 0x8b883333;
// настройка линий PB0-PB7 пор-
та PB второго ведомого микрокон-
троллера
GPIOB->CRL = 0x33333333;

// конфигурация SPI1
SPI1->CR1 = (1<<6) | (0<<2); //
включаем SPI, режим работы Slave
(ведомый)

while (1) // бесконечный цикл

```

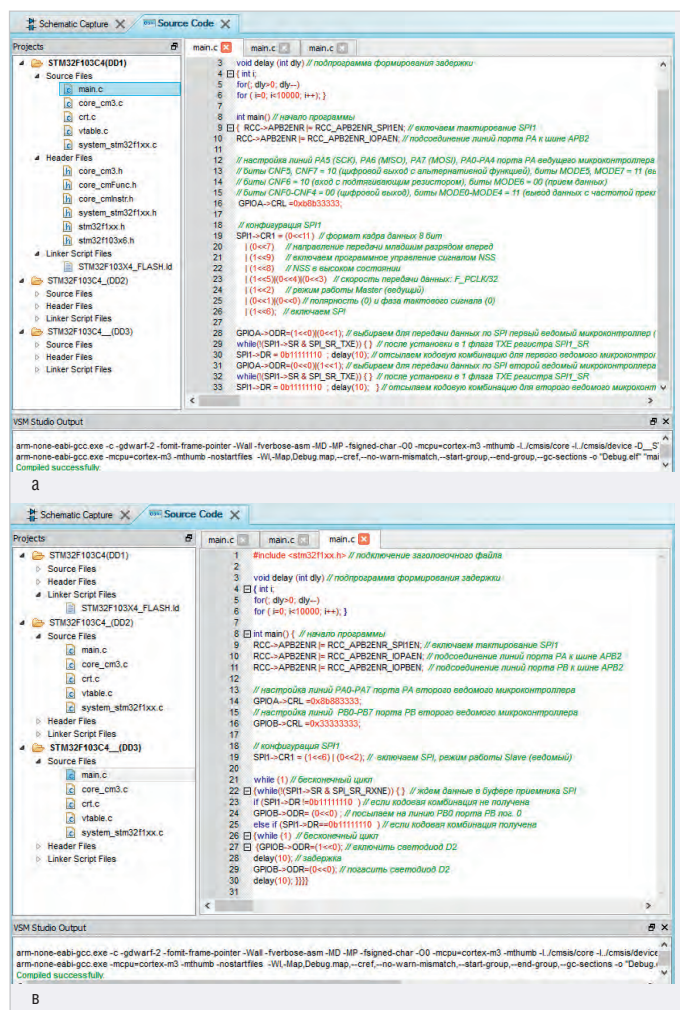


Рис. 15. Передача данных между тремя устройствами через интерфейс SPI. Вкладка Source Code, код программы инициализации: ведущего микроконтроллера (а), первого ведомого микроконтроллера (б), второго ведомого микроконтроллера (в)

```

{while(!(SPI1->SR & SPI_SR_RXNE))
{ } // ждём данные в буфере приёмника SPI
if (SPI1->DR != 0b11111110) //
если кодовая комбинация не получена
GPIOB->ODR = (0<<0); // посылаем
на линию PB0 порта PB лог.0
else if (SPI1->DR == 0b11111110) //
если кодовая комбинация получена
{while (1) // бесконечный цикл
{GPIOB->ODR = (1<<0); // включить
светодиод D2
delay(10); // задержка
GPIOB->ODR = (0<<0); // погасить
светодиод D2
delay(10); }}}
    
```

Код программы инициализации вводится на вкладке Source Code схемного редактора на отдельной закладке для каждого микроконтроллера (см. рис. 15). Проанализируем работу демонстрационной схемы, представленной на рис. 14. На вкладке Source Code про-

граммным путём были даны указания ведущему микроконтроллеру через интерфейс SPI1 отправить каждому ведомому микроконтроллеру кодовую комбинацию. Это действие выполняется последовательно. Сначала ведущий микроконтроллер через линию PA0 своего порта PA подаёт на линию NSS (PA4) микросхемы DD2 логическую единицу, а через линию PA1 на линию NSS (PA4) микросхемы DD3 логический ноль, что оповещает первое ведомое устройство о том, что именно оно выбрано для обмена данными с ведущим по интерфейсу SPI, активизирует интерфейс SPI1 микросхемы DD2 и делает неактивным интерфейс SPI1 микросхемы DD3.

После задержки ведущий микроконтроллер через линию PA1 своего порта PA подаёт на линию NSS (PA4) микросхемы DD3 логическую единицу, а через линию PA0 на линию NSS (PA4)

микросхемы DD2 логический ноль, что активизирует интерфейс SPI1 микросхемы DD3 и делает неактивным интерфейс SPI1 микросхемы DD2.

Если ведомое устройство выбрано ведущим, то программа ведомого микроконтроллера выводит на линию PB0 порта PB логический ноль, в результате чего подключённый к порту светодиод будет погашен. Как только по интерфейсу SPI1 получена кодовая комбинация от ведущего микроконтроллера, запускается подпрограмма, дающая указания ведомому микроконтроллеру запустить цикл, в котором последовательно выводятся на линию порта PB0 значения логической 1 и 0. Эти значения удерживаются при помощи команды задержки.

После запуска моделирования при помощи двух светодиодов, подключённых к линиям PB0 порта PB ведомых микроконтроллеров DD2 и DD3, мы можем проверить правильность

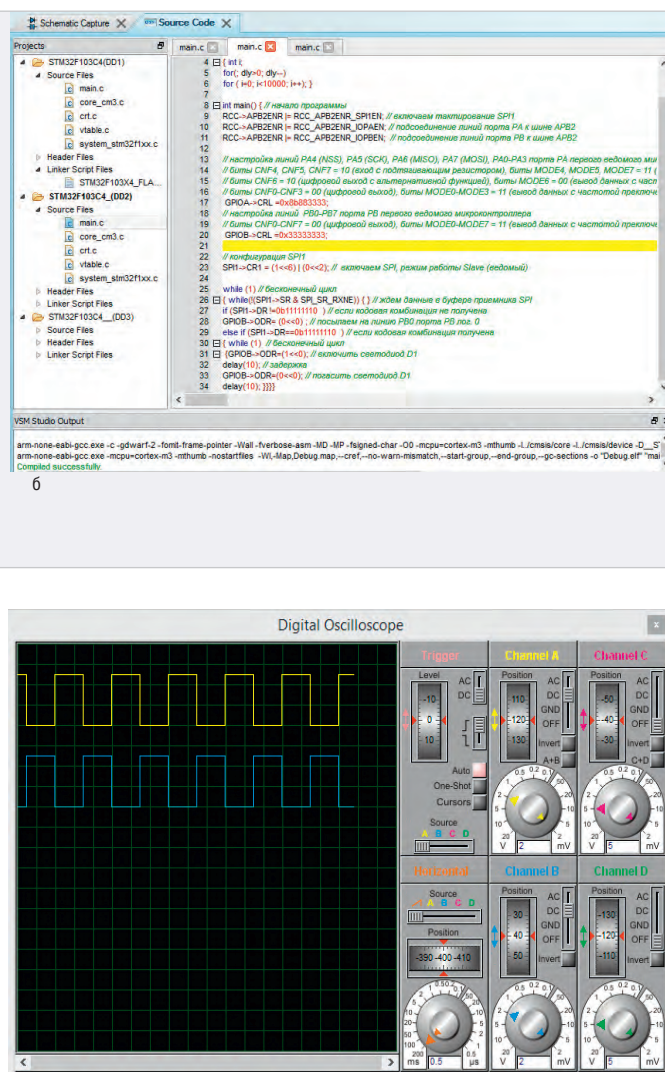


Рис. 16. Осциллограмма работы светодиодов D1 и D2, подключённых к ведомым микроконтроллерам STM32F103C4

работы программы – светодиоды подсвечиваются и гаснут поочерёдно, что наглядно демонстрирует осциллограмма, представленная на рис. 16. В момент времени, когда на выводе PB0 микроконтроллера DD2 единица, на выводе PB0 микроконтроллера DD3 – ноль.

Работа с SPI в микроконтроллерах Mega в Proteus

Передача данных через интерфейс SPI между двумя микроконтроллерами AVR

Рассмотрим процесс передачи данных между двумя микроконтроллерами AVR на примере микросхемы ATmega16, для чего создадим в редакторе Schematic Capture новый проект и добавим в его рабочее поле две микросхемы ATmega16, два светодиода (100 Ом), два символа «земли» и соединим компоненты, как показано на рис. 17. Напишем на языке программирования C программный код управления передачей данных. Необходимо отметить, что программа инициализации пишется как для ведущего, так и для ведомого микроконтроллера. Определим микроконтроллер DD1 как ведущий, а микроконтроллер DD2 как ведомый. При этом задачей ведущего контроллера будет послать управляющий сигнал (кодovou комбинацию), задачей ведомого – принять его и последовательно включить и выключить оба светодиода. Для удобства соединения можно отразить в рабочей области микросхему DD1, для чего выделим её при помощи левой кнопки мыши, при помощи правой кнопки мыши вызовем контекстное меню и выберем в нём пункт X-Mirror. В результате микросхема будет отражена по горизонтали в рабочем поле проекта. В таком положении выводы PB4/SS, PB5/MOSI, PB6/MISO, PB7/SCK обеих микросхем соединить намного проще, при этом соединительные линии на схеме будут короче.

В окне настроек Edit Component для каждого микроконтроллера установим следующие параметры (см. рис. 18):

- поле CKOPT (Oscillator Options) – (1) Unprogrammed;
- поле BOOTRST (Select Reset Vector) – (1) Unprogrammed;
- поле CKSEL Fuses – (0010) Int.RC 2MHz;

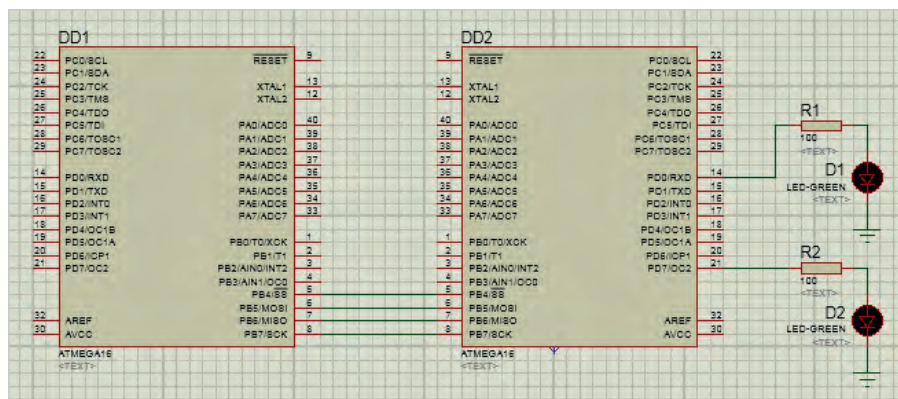


Рис. 17. Демонстрационная схема с использованием двух микроконтроллеров ATmega16 и светодиодов

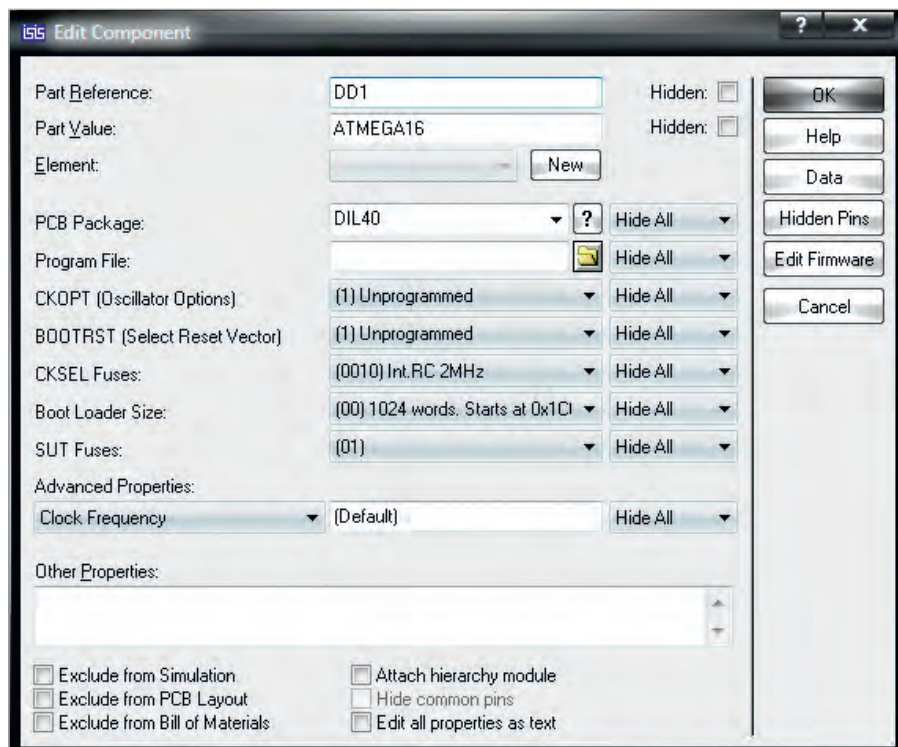


Рис. 18. Настройка параметров микроконтроллера ATmega16 при передаче данных между двумя устройствами через интерфейс SPI

- поле Boot Loader Size – (00) 1024 words. Starts at 0x1C00;
- поле SUT Fuses – (01);
- поле Advanced Properties – Clock Frequency (Default).

Окно настроек можно открыть при помощи двойного щелчка левой кнопкой мыши по выбранному на схеме микроконтроллеру.

В модуле SPI имеется три регистра ввода/вывода:

- SPDR – регистр данных, содержит посылаемый или принятый байт данных;
- SPCR – регистр управления, определяет функционирование модуля SPI;
- SPSR – регистр состояния, отображает состояние модуля SPI.

Включение/выключение SPI выполняется установкой шестого бита (SPE)

регистра SPCR, пятый бит (DORD) задаёт порядок передачи данных, а четвёртый бит (MSTR) этого регистра определяет режим работы интерфейса.

Перед выполнением передачи данных необходимо, прежде всего, разрешить работу модуля SPI. Для этого следует установить в единицу шестой бит регистра SPCR. Режим работы определяется состоянием четвёртого бита этого регистра: если бит установлен в 1, микроконтроллер работает в режиме Master, если сброшен в 0 – в режиме Slave. Программно (на языке программирования C) эти действия можно реализовать следующим образом:

```
SPCR=0b01010000; // установка битов регистра SPCR ведущего микроконтроллера
```

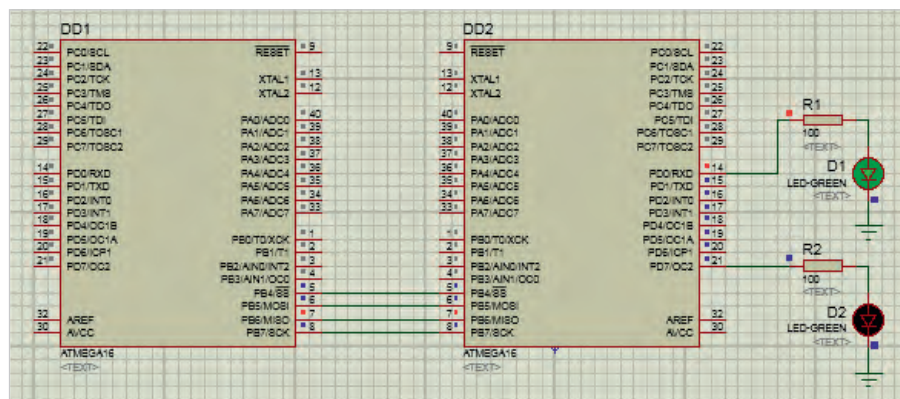


Рис. 19. Процесс моделирования проекта передачи данных между двумя микроконтроллерами ATmega16 через интерфейс SPI в программной среде Proteus

```
SPCR=0b01000000; // установка
битов регистра SPCR ведомого микро-
контроллера
```

Передача данных осуществляется следующим образом. При записи в регистр данных SPI ведущего микроконтроллера запускается генератор тактового сигнала модуля SPI. Данные начинают побитно выдаваться на вывод MOSI устройства Master и, соответственно, поступать на вывод MOSI устройства Slave. Порядок передачи битов данных определяется состоянием пятого бита регистра SPCR. Если бит установлен в 1, первым передаётся младший бит байта, если же сброшен в 0 – старший бит.

Частота тактового сигнала SCK и соответственно скорость передачи данных по интерфейсу определяются состоянием первого и нулевого битов (SPR1:SPR0) регистра SPCR и нулевого бита (SPI2X) регистра SPSR ведущего микроконтроллера, так как именно он является источником тактового сигнала. Для ведомого микроконтроллера состояние этих битов не имеет значения. Программно частоту тактового сигнала ведущего микроконтроллера можно задать следующим образом:

```
SPCR=0b01010011;
SPSR=0b00000000;
```

Здесь мы установили первый и нулевой бит регистра SPCR в единицу и нулевой бит регистра SPSR в ноль, что приведёт к установке следующей частоты сигнала SCK: $f_{CLK}/128$, где f_{CLK} – тактовая частота микроконтроллера.

Напишем на языке программирования C следующий код программы инициализации для ведущего микроконтроллера:

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
```

```
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
int main()
{
    PORTB=0b00000000; // инициализа-
    ция порта PB микросхемы DD1
    DDRB=0b10110000; // указываем
    направление передачи информации по
    линиям порта
    // линии SS, MOSI, SCK установ-
    лены как выходы
    SPCR=0b01010011; // инициализа-
    ция SPI
    SPSR=0b00000000;
    SPDR=0b11111110; // отсылаем
    кодовую комбинацию для ведомого
    микроконтроллера
    return 0;
}
```

Для ведомого микроконтроллера был написан следующий код программы инициализации:

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
int main()
{
    PORTB=0b00000000; // инициализа-
    ция порта PB микросхемы DD2
    DDRB=0b00000000; // линии порта
    PB работают как входы
    PORTD=0b00000000; // инициализа-
    ция порта PD
    DDRD=0b11111111; // линии порта
    PD работают как выходы
    SPCR=0b01000011; // инициализа-
    ция SPI
    while (1) // бесконечный цикл
    {
        if (SPDR!=0b11111110) // если
        кодовая комбинация не получена
```

```
PORTD=0b00000000; // посылаем на
все линии порта PD - 0
else if (SPDR==0b11111110) //
если кодовая комбинация получена
{PORTD=0b00000001; // включить
светодиод D1
    _delay_ms(1000); // задержка в
1 секунду
    PORTD=0b10000000; // погасить
светодиод D1 и включить светоди-
од D2
    _delay_ms(1000); } // задержка в
1 секунду
}
```

После того как в рабочей области проекта собрана схема, а на вкладке Source Code для каждого микроконтроллера (ведомого и ведущего) введён код программы, кнопкой Run the simulation можно запускать моделирование (см. рис. 19). В результате, в том случае, если компилятор не обнаружит ошибок в программе, на диске компьютера в рабочей папке проекта будут созданы файлы *.elf, *.hex и *.c. Для компиляции кода программы, написанного на языке программирования C, в Proteus применяется компилятор WinAVR.

Проанализируем работу демонстрационной схемы, представленной на рис. 19. На вкладке Source Code программным образом были даны указания ведущему микроконтроллеру через интерфейс SPI отправить ведомому микроконтроллеру кодовую комбинацию. Программа ведомого микроконтроллера выводит на линии порта PD все нули, в результате чего два подключённых к порту светодиода будут погашены. Как только по интерфейсу SPI получена кодовая комбинация от ведущего микроконтроллера, запускается подпрограмма, которая даёт команду ведомому микроконтроллеру вывести на линии PD0 и PD7 значения логической 1 и 0 соответственно, которые удерживаются на этих линиях при помощи команды задержки. Затем на линии PD0 и PD7 выводятся значения логического 0 и 1 соответственно, после чего (после задержки) выполнение этого фрагмента программы повторяется. После запуска моделирования при помощи двух светодиодов, подключённых к линиям PD0 и PD7, мы можем проверить правильность работы программы – светодиоды подсвечиваются и гаснут поочередно (см. рис. 19).

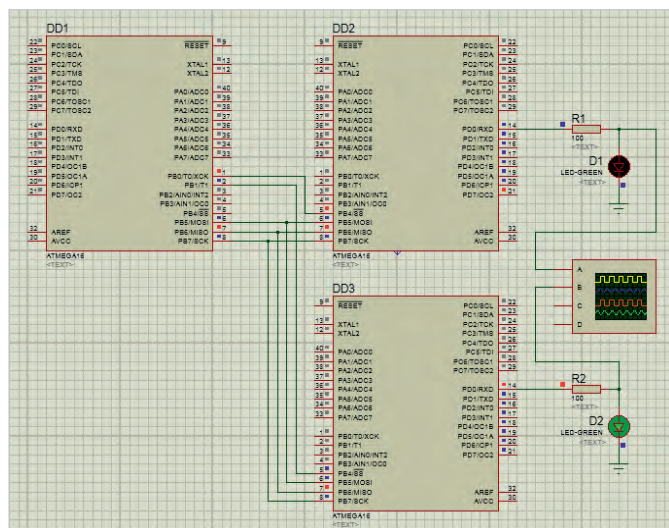


Рис. 20. Процесс моделирования проекта передачи данных между тремя микроконтроллерами ATmega16 через интерфейс SPI в программной среде Proteus

Передача данных через интерфейс SPI между тремя микроконтроллерами AVR

Рассмотрим процесс передачи данных через интерфейс SPI между несколькими микроконтроллерами ATmega16, для чего создадим новый схемный проект и добавим в рабочее поле три таких микросхемы, два светодиода, два резистора (100 Ом), два символа «земли». При этом микросхема DD1 будет выполнять роль ведущего микроконтроллера, а микросхемы DD2 и DD3 – ведомых. Соединим компоненты, как показано на рис. 20, и напомним на языке программирования C программный код управления передачей данных. Программа инициализации пишется как для ведущего, так и для обоих ведомых микроконтроллеров.

Задача ведущего контроллера – послать управляющий сигнал (кодovou комбинацию) сначала первому ведомому, а затем – второму. Переключение между ведомыми выполняется путём установки ведущим микроконтроллером логического нуля на линии SS ведомых микроконтроллеров. При передаче данных по интерфейсу SPI между тремя микроконтроллерами в нашем примере этот сигнал выдаётся на линии PB0, PB1 порта PB ведущего микроконтроллера. Задача каждого ведомого – принять кодovou комбинацию, после чего запустить цикл, в котором выполняется последовательное включение и выключение светодиода.

Для удобства соединения в рабочей области проекта отразим по

горизонтали микросхему DD1. В окне настроек Edit Component для каждого микроконтроллера установим следующие параметры (см. рис. 21):

- поле CKOPT (Oscillator Options) – (1) Unprogrammed;
- поле BOOTRST (Select Reset Vector) – (1) Unprogrammed;
- поле CKSEL Fuses – (0001) Int.RC 1MHz;
- поле Boot Loader Size – (00) 1024 words. Starts at 0x1C00;
- поле SUT Fuses – (00);
- поле Advanced Properties – Clock Frequency (Default).

Окно настроек открывают двойным щелчком левой кнопки мыши по выбранному на схеме микроконтроллеру.

Напомним на языке программирования C следующий код программы инициализации для ведущего микроконтроллера:

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
int main()
{
    PORTB=0b00000000; // инициализация порта PB микросхемы DD1
    DDRB=0b10100011; // указываем направление передачи информации по линиям порта
    // линии MOSI, SCK, PB0, PB1 установлены как выходы
    SPCR=0b01010011; // инициализация SPI
```

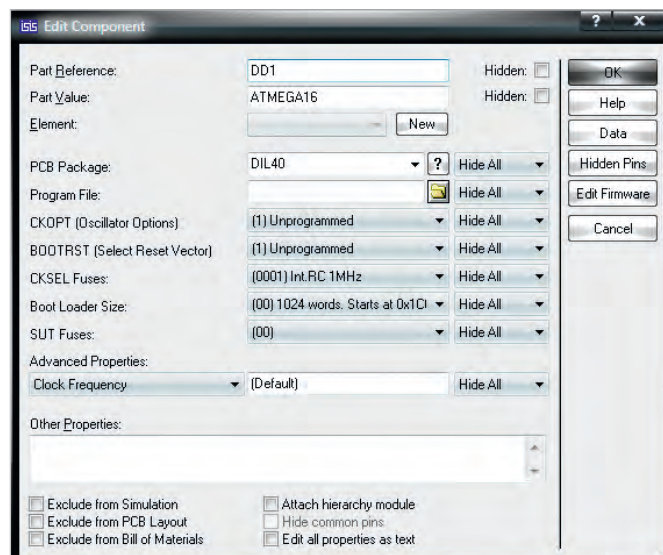


Рис. 21. Настройка параметров микроконтроллера ATmega16 при передаче данных между тремя устройствами через интерфейс SPI

```
SPSR=0b00000000;
PORTB=0b00000010; // выбираем для передачи данных по SPI первый ведомый МК
SPDR=0b11111110; // отсылаем кодovou комбинацию для первого ведомого МК
_delay_ms(1000); // задержка
PORTB=0b00000001; // выбираем для передачи данных по SPI второй ведомый МК
SPDR=0b11111110; // отсылаем кодovou комбинацию для второго ведомого МК
_delay_ms(1000);
return 0;
}
```

Для ведомого микроконтроллера DD2 был написан следующий код программы инициализации:

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
int main()
{
    PORTB=0b00000000; // инициализация порта PB микросхемы DD2
    DDRB=0b00000000; // линии порта PB работают как входы
    PORTD=0b00000000; // инициализация порта PD микросхемы DD2
    DDRD=0b11111111; // линии порта PD работают как выходы
    SPCR=0b01000011; // инициализация SPI
    while (1) // бесконечный цикл
    {
```

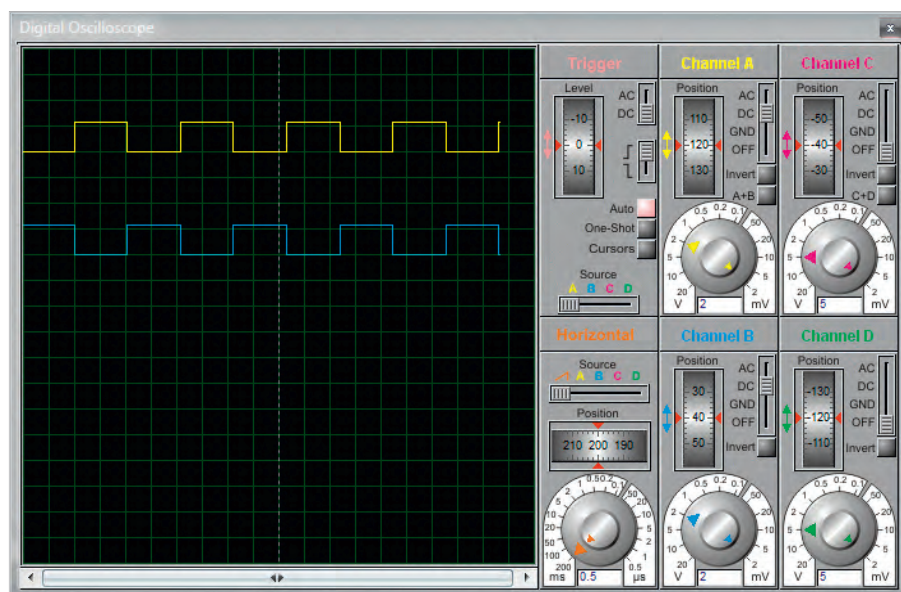


Рис. 22. Осциллограмма работы светодиодов D1 и D2, подключённых к ведомым микроконтроллерам ATmega16

```
if (SPDR!=0b11111110) // если
кодвая комбинация не получена
PORTD=0b00000000; // посылаем на
все линии порта PD - 0
else if (SPDR==0b11111110) //
если кодовая комбинация получена
{PORTD=0b00000001; // включить
светодиод D1
_delay_ms(1000); // задержка
PORTD=0b10000000; // погасить
светодиод D1
_delay_ms(1000); } // задержка
}}
```

Код программы инициализации для ведомого микроконтроллера DD3:

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
int main()
{
PORTB=0b00000000; // инициализа-
ция порта PB микросхемы DD3
DDRB=0b00000000; // линии порта
PB работают как входы
PORTD=0b00000000; // инициализа-
ция порта PD микросхемы DD3
DDRD=0b11111111; // линии порта
PD работают как выходы
SPCR=0b01000011; // инициализа-
ция SPI
while (1) // бесконечный цикл
{
if (SPDR!=0b11111110) // если
кодвая комбинация не получена
PORTD=0b00000000; // посылаем на
все линии порта PD - 0
```

```
else if (SPDR==0b11111110) //
если кодовая комбинация получена
{PORTD=0b00000001; // включить
светодиод D2
_delay_ms(1000); // задержка
PORTD=0b10000000; // погасить
светодиод D2
_delay_ms(1000); } // задержка
}}
```

Код программы инициализации вво- дится на вкладке Source Code схемного редактора на отдельной закладке для каждого микроконтроллера. После того как в рабочей области проекта собрана схема, а на вкладке Source Code введён код программы, можно запускать моделирование. В резуль- тате, если компилятор не обнаружит ошибки в программе, на диске ком- пьютера в рабочей папке проекта будут созданы для каждого микрокон- троллера файлы *.elf, *.hex и *.c.

Проанализируем работу демон- страционной схемы, представлен- ной на рис. 20. На вкладке Source Code программно были даны ука- зания ведущему микроконтролле- ру через интерфейс SPI отправить каждому ведомому микроконтрол- леру кодовую комбинацию. Это дей- ствие выполняется последовательно. Сначала ведущий микроконтрол- лер через линию PB0 своего порта PB подаёт на линию SS микросхемы DD2 логический ноль, а через линию PB1 на линию SS микросхемы DD3 логическую единицу, что оповеща- ет первое ведомое устройство о том, что именно оно выбрано для обмена

данными с ведущим устройством по интерфейсу SPI, активизирует интер- фейс SPI микросхемы DD2 и делает неактивным интерфейс SPI микро- схемы DD3.

После задержки ведущий микрокон- троллер через линию PB1 своего пор- та PB подаёт на линию SS микросхемы DD3 логический ноль, а через линию PB0 на линию SS микросхемы DD2 – логическую единицу, что активизирует интерфейс SPI микросхемы DD3 и дела- ет неактивным интерфейс SPI микро- схемы DD2.

Если ведомое устройство выбра- но ведущим, то программа ведомо- го микроконтроллера выводит на линии порта PD все нули, в резуль- тате чего подключённый к пор- ту светодиод будет погашен. Как только по интерфейсу SPI получе- на кодовая комбинация от ведуще- го микроконтроллера, запускает- ся подпрограмма, дающая указания ведомому микроконтроллеру запу- стить цикл, в котором последова- тельно выводятся на линию порта PD0 значения логической 1 и 0. Эти значения удерживаются при помо- щи команды задержки.

После запуска моделирования при помощи двух светодиодов, подклю- чённых к линиям PD0 порта PD vedo- мых микроконтроллеров DD2 и DD3, мы можем проверить правильность работы программы – светодиоды под- свечиваются и гаснут поочерёдно, что наглядно демонстрирует осцил- лограмма, представленная на рис. 22. В момент времени, когда на выводе PD0 микроконтроллера DD2 едини- ца, на выводе PD0 микроконтролле- ра DD3 – ноль.

Литература

1. STM32F103x4, STM32F103x6 MCU Datasheet. STMicroelectronics. 2009.
2. Proteus VSM Help. Labcenter Electronics. 2020.
3. STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced ARM-based 32-bit MCUs. Reference manual. STMicroelectronics. 2010.
4. Колесникова Т. Работа с универсальным синхронно/асинхронным приёмо-пере- датчиком USART в программной среде Proteus 8.11 // Современная электроника. 2021. № 8. С. 34.
5. 8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. ATmega16, ATmega16L. Atmel Corporation. 2010.

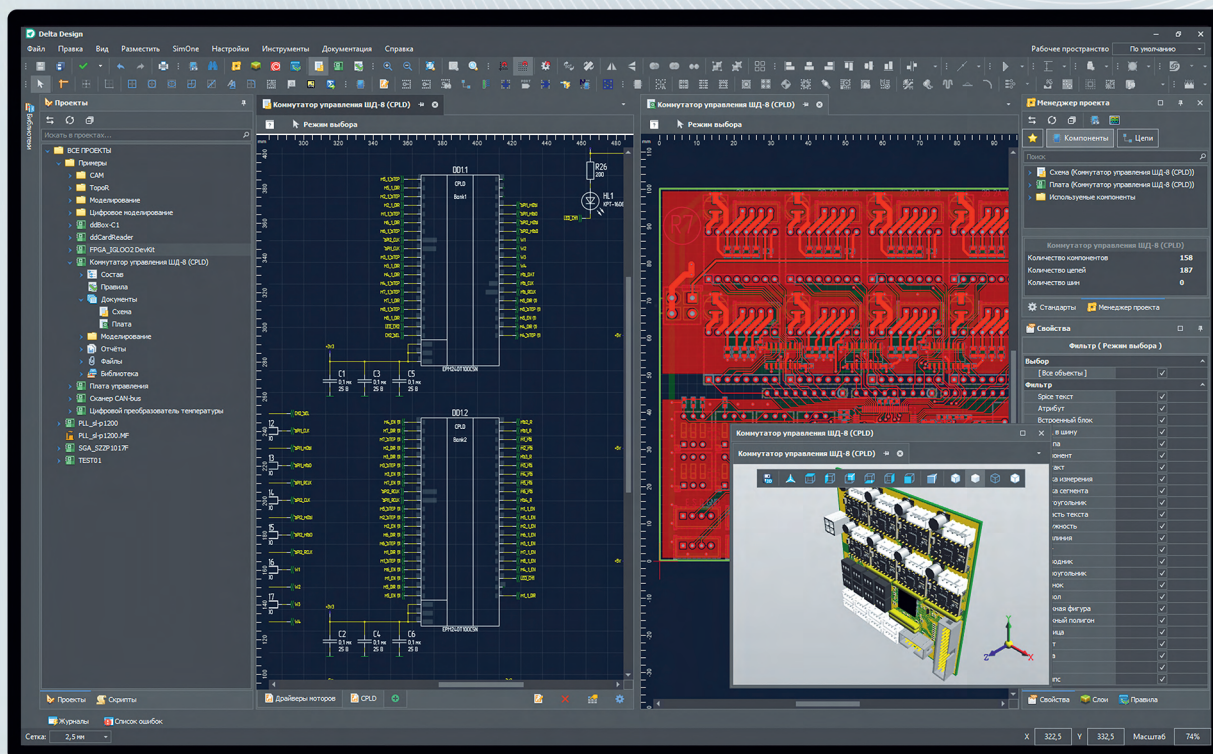




DeltaDesign 3.5



Новая версия российской САПР электроники



Импорт данных из
Mentor PADS и Altium Designer



Поддержка нескольких
вариантов трассировки



Обновленный интерфейс
в новой оболочке



Новая функциональность схемотехнического
редактора и редактора печатных плат

! Чтобы получить консультацию по новой версии и внедрить САПР Delta Design на вашем предприятии, обратитесь к специалистам Эремекс

Монтаж компонентов и связанные с ним технологии.

Подсистема ГРИФ-4 – Монтаж.

Часть 2

Юрий Ёлшин (elshin.juri@yandex.ru)

В статье приводится описание подсистемы формирования исходной информации для реализации этапа подготовки данных для монтажа компонентов на печатной плате и собственно этапа монтажа компонентов на основе этих данных. Программное обеспечение этих этапов реализовано в рамках ГРИФ-4 – «Информационно-программного комплекса расширения функционала САПР P-CAD 200X».

Модуль **FormNear01.exe** предназначен для формирования каталога файлов с чертежами установки (монтажа) компонентов, применённых в данном проекте. Начальный диалог этой программы приведён на рис. 1.

Данный модуль формирует папку с именем, например, ВУИА.468172.045СБ_л.01, которая содержит папки и отдельные файлы, необходимые для выполнения монтажных работ. Результат работы программы FormNear01 приведён ниже (см. рис. 2).

Как следует из рисунка 2, в спроектированной печатной плате использовано 32 разных типа компонентов, перечисленных в алфавитном порядке, начиная с папки компонента с именем **4229.132-3-F** и заканчивая папкой с компонентом с именем **TRS-LS5**. Далее содержатся два файла с десятичными номерами сборочного чертежа ячейки – лист 03 и лист 04, которые содержат чертежи расположения компонентов на слоях TOP и BOTTOM соответственно.

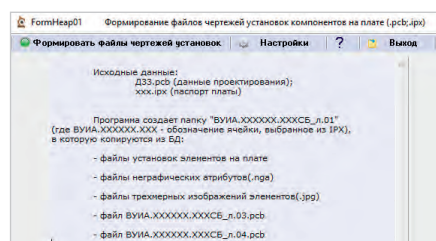


Рис. 1. Начальный диалог программы FormNear01

Имя	Изменен	Размер Авто	Тип	Атрибуты
4229.132-3.pcb	08.10.2020 9:13:45	216 КБ	Папка с файлами	A
4229.132-3-F.nga	15.03.2019 14:40:37	139 Байт	P-CAD PCB File	A
4229-132-3.JPG	21.03.2019 12:54:26	264 КБ	Файл "JPG"	A

Рис. 3. Файлы, необходимые монтажнику для установки компонентов, представленные в различных форматах

Эти виды содержат данные о контуре платы и размещении всех перечисленных на рис. 2 компонентов на этих слоях с их позиционными обозначениями. Сразу отметим, что общее число компонентов различного типа (с точки зрения конструкции посадочных типов) в данном примере 32, но фактически, с точки зрения доработки их для монтажа, всего 10. Остальные 22 монтируются элементарной их установкой по виду на сборочном чертеже платы. При работе модуля их можно показать раздельно. На рис. 3 продемонстрированы файлы, необходимые монтажнику для установки компонентов, представленные в различных форматах.

Имя	Изменен	Тип
4229.132-3-F	08.10.2020 8:49:27	Папка с файлами
4244.256-3-F	02.10.2020 13:06:45	Папка с файлами
4601.3-1	02.10.2020 11:38:19	Папка с файлами
5559N28U	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
DL3415	30.09.2020 8:08:23	Папка с файлами
GK323TK	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
K1017A-1	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
K1084A-1	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
K1084V-3	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
K1084V-5	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
K1084V-11	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
K5356A-3	17.09.2020 14:58:00	Папка с файлами
KK166	17.09.2020 14:58:02	Папка с файлами
KT1	21.09.2020 7:58:22	Папка с файлами
KT-28A-2.02-RAD	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
MR	30.09.2020 8:51:24	Папка с файлами
M401	30.09.2020 8:51:48	Папка с файлами
M401.14-5	21.09.2020 7:58:47	Папка с файлами
M402A	17.09.2020 15:33:04	Папка с файлами
N09.28-1V	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
NR1-1R	18.09.2020 15:30:34	Папка с файлами
R18-2	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
R18-3	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
R18-7	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
R18-8	17.09.2020 14:58:02	Папка с файлами
R18-10	17.09.2020 14:58:01	Папка с файлами
SN5801M	17.09.2020 14:58:02	Папка с файлами
SN5802M	17.09.2020 14:58:02	Папка с файлами
SNP347-10VP21-V	02.10.2020 11:40:01	Папка с файлами
SNP347-20VP21-V	18.09.2020 15:50:19	Папка с файлами
TL28	18.09.2020 15:48:38	Папка с файлами
TRS-LS5	17.09.2020 14:58:02	Папка с файлами
ВУИА.468172.045СБ_л.03.pcb	17.09.2020 15:26:14	P-CAD PCB File
ВУИА.468172.045СБ_л.04.pcb	17.09.2020 15:26:20	P-CAD PCB File
Рисунок ячейки в 3d-формате.docx	11.08.2017 11:30:36	Документ Microsoft Word

Рис. 2. Результат работы программы FormNear01

Каждая папка содержит файлы различных представлений компонентов, используемых в текущем проекте. Для примера рассмотрим папку, первую на рис. 2 – 4229.132-3-F. В ней содержится 3 файла.

Первый в списке файл **4229.132-3.pcb** содержит чертежи корпуса микросхемы в разных проекциях: в верхней части чертежа – вид сбоку, в нижней части – вид сверху на компонент (нижняя часть совмещена с видом посадочного места компонента). Распечатка этого файла показана на рис. 4. Фор-

Таблица 1

НР ПРОЧИЕ ИЗДЕЛИЯ
НЗ МИКРОСХЕМА
ПН 5600BB3T
ТУ АЕНВ.431290.084ТУ
КЛ 1
ПР 3
ТТ 4229.132-3.pcb
ПЧ
ВЫС 3.8
АБД Глухов А.Н.

Таблица 2

НР1 ДЕТАЛИ
НЗ1 Радиатор
ДН1 ВУИА.752694.025-01
ФТ1 АЗ
КЛ1 1
ПР1 1

НР2 СТАНДАРТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ
НЗ2 Винт
ПР2 2
ТУ2 ГОСТ 17473-80
ПН2 МЗ-6х10.36.016
КЛ2 1

НР3 СТАНДАРТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ
НЗ3 Шайба
ПР3 2
ТУ3 ГОСТ 10450-78
ПН3 С 3.04.016
КЛ3 1

НР4 СТАНДАРТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ
НЗ4 Шайба
ПР4 4
ТУ4 ГОСТ 6402-70
ПН4 3 65Г 016
КЛ4 1

НР5 СТАНДАРТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ
НЗ5 Гайка шестигранная нормальная
ПР5 2
ТУ5 ГОСТ ISO-4032
ПН5 МЗ-6-А2А
КЛ5 1

НР6 Детали
НЗ6 Покладка (для микросхем 1335ЕН5П и 1335ЕР1П)
ДН6 ВУИА.741124.985
ФТ6 А4
КЛ6 1
ПР6 1

мат файла соответствует формату данных о плате в САПР P-CAD 2006.

Второй в списке файл **4229.132-3.nga** содержит текстовую информацию о компоненте 4229.132-3, распечатка которого приведена ниже (см. табл. 1). Здесь метка НР обозначает наименование раздела в спецификации ячейки. Метка НЭ – наименование типа элемента в БД ГРИФ-4. Метка ПН – полное наименование компонента в БД. Метка ТУ – наименование технических условий компонента. КЛ – количество, ПР – примечание, ТТ – код посадочного места компонента, ВЫС – высота компонента относительно поверхности платы после её монтажа, АБД – фамилия сотрудника администрации БД, который осуществил ввод данного компонента в БД.

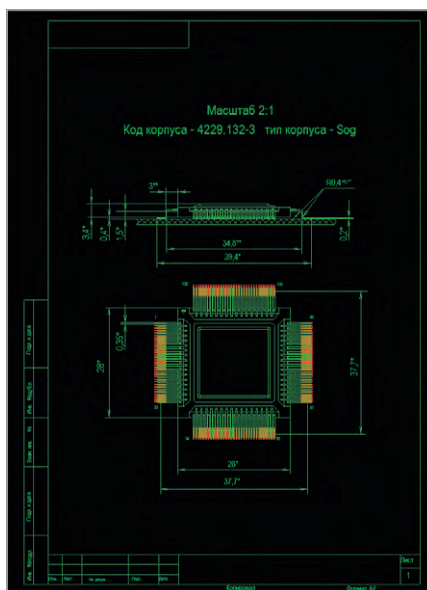
Фактически здесь содержится паспорт ячейки. При наличии в составе компонента дополнительных крепёжных или иных деталей этот список содержит продолжение с прочими данными о деталях. Как видно из этого файла, данный компонент не имеет дополнительных деталей.

Однако в целях иллюстрации ниже приведён пример распечатки файла дополнительной неграфической атрибутки для микросхемы 1335ЕН5П (см. табл. 2).

Третий в списке файл 4229.132-3.jpg содержит информацию о трёхмерной модели компонента, а именно – картинку в пиксельном формате 3DM-компонента (см. рис. 5). Этот файл выполняет вспомогательную функцию, чисто иллюстративную.

Все перечисленные файлы могут быть распечатаны на любом принтере. При подготовке всех проектных файлов программа FormNear01.exe дополнительно формирует файл FormNear01.eeg, который содержит протокол контроля корректности подготовленного документа. Этот файл заводу-изготовителю не передаётся. Однако этот протокол необходим конструктору, который формирует документы для монтажа. Его содержимое позволяет устранить пробелы в строках, что говорит об отсутствии отдельных необходимых компонентов в базе данных подсистемы ГРИФ-4, и повторно запустить программу FormNear01.exe.

На рисунке ниже в качестве примера представлен 3D-чертёж печатной платы после монтажа компонентов на печатной плате (см. рис. 6).



- ния. Анализ соединений (посадочные места для монтажа компонентов). Компоненты с матрицей контактов (BGA, FBGA, CGA, LGA)».
3. ГОСТ IEC 61188-5-6-2013 «Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 5-6. Общие требования. Анализ соединений (посадочные места для монтажа компонентов). Компоненты с J-образными выводами с четырёх сторон».
 4. ГОСТ IEC 61188-5-4-2013 «Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 5-4. Общие требования. Анализ соединений (посадочные места для монтажа компонентов). Компоненты с J-образными выводами с двух сторон».

5. ГОСТ IEC 61188-5-5-2013 «Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 5-5. Общие требования. Анализ соединений (посадочные места для монтажа компонентов). Компоненты с выводами в виде "крыла чайки" с четырёх сторон».
6. ГОСТ IEC 61188-5-3-2013 «Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 5-3. Общие требования. Анализ соединений (посадочные места для монтажа компонентов). Компоненты с выводами в виде "крыла чайки" с двух сторон».
7. ГОСТ IEC 61188-5-2-2013 «Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 5-2. Общие требования. Анализ соединений (посадочные

места для монтажа компонентов). Дисcretные компоненты».

8. ГОСТ Р МЭК 61191-2-2017 «Печатные узлы. Часть 2. Поверхностный монтаж. Технические требования».
9. ГОСТ Р МЭК 61188-7-2017 «Печатные платы и печатные узлы. Часть 7. Нулевая ориентация электронных компонентов для создания библиотек САПР».
10. ГОСТ Р МЭК 611-1-2017 «Часть 1. Поверхностный монтаж и связанные с ним технологии. Общие технические требования».
11. ГОСТ Р МЭК 61191-3-2019 «Часть 3. Монтаж в сквозные отверстия. Технические требования».
12. ГОСТ Р МЭК 61191-4-2019 «Часть 4. Монтаж компонентов. Технические требования».



НОВОСТИ МИРА

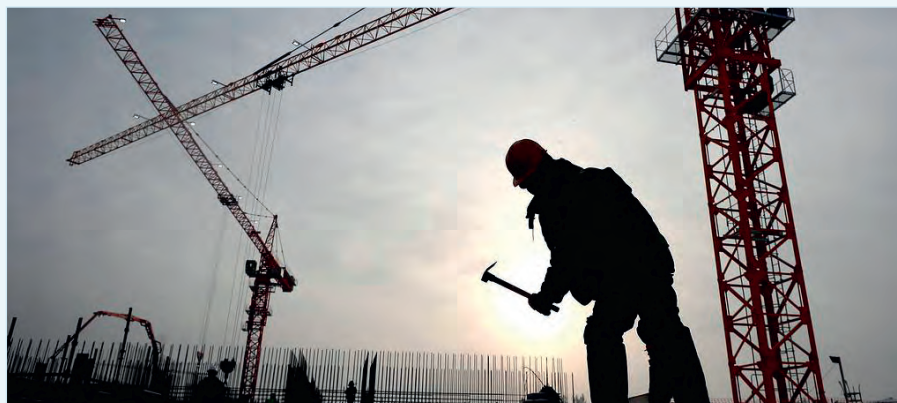
Yadro построит крупнейший в России завод полного цикла по производству радиоэлектроники

Группа российских технологических компаний Yadro приступает к основной фазе строительства в Дубне крупнейшего в России завода полного цикла по производству радиоэлектронной продукции, передаёт корреспондент ТАСС с церемонии старта основного этапа строительства завода.

Предприятие сможет выпускать до 1 млн единиц техники в год, производственные мощности будут также доступны другим отечественным производителям. Проект нацелен на создание производственных возможностей нового класса в стране.

Предприятие Yadro Fab Dubna будет располагаться на территории особой экономической зоны (ОЭЗ) «Дубна» в 110 км от Москвы. Общая площадь завода составит около 40 тыс. кв. м, он будет включать цеха по производству многослойных печатных плат с потенциальной производительностью до 10 миллионов квадратных дециметров многослойных печатных плат любой сложности в год, линии поверхностного монтажа и автоматизированные конвейерные линии сборки и тестирования готовой продукции, а также современный складской комплекс площадью более 3500 кв. м.

«Есть национальная цель – увеличить в четыре раза расходы на российские решения к 2030 году, и есть такие амбициозные проекты, как Yadro, пожалуй, один из самых ярких и успешных примеров отечественной разработки. Новый завод будет содействовать реализации проектов цифровой трансформации страны на отечественных продук-



тах» – отметил министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ Максют Шадаев.

Завод будет производить отечественные персональные устройства, сообщил он. «Новая амбиция, новая цель – начать выпускать персональные устройства, компьютеры, планшеты. Завод призван к тому, чтобы начать производить персональную электронику, которая будет соответствовать всем международным стандартам», – рассказал Шадаев.

В пресс-службе Yadro отметили, что технологические возможности нового завода позволят обеспечить крупносерийное производство полного цикла как текущего, так и перспективного продуктового портфеля группы компаний Yadro: серверы, системы хранения данных, сетевое и телекоммуникационное оборудование, продукты класса клиентских систем.

«Когда предприятие Yadro Fab Dubna будет запущено, а это случится через год, картина с производством российского железа поменяется. Серверы, системы хранения данных, производство печатных плат – цифры поменяются радикально, как и до-

ля российских производителей на рынке. Только по многослойным крупным печатным платам производственные мощности в России фактически утроятся – за счёт одного этого предприятия. Мы считаем, что Московская область и Дубна – это лучшее и самое комфортное место для инженеров, для IT-специалистов, это и другие передовые предприятия здесь оказались неслучайно», – сказал заместитель председателя правительства Московской области Вячеслав Духин.

О компании Yadro

Yadro – группа российских технологических компаний, объединяющая направления разработки и производства вычислительных платформ, систем обработки и хранения данных, телекоммуникационного и сетевого оборудования, персональных и «умных» устройств, микропроцессорных ядер и fabless-производство микропроцессоров. R&D-центры расположены в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде. Компания входит в многопрофильную ИТ-группу «ИКС Холдинг».

tass.ru



ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



онлайн: www.cta.ru • +7 495 234-0635 • info@cta.ru

на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)

Работа с последовательным интерфейсом I²C в программной среде Proteus 8.11

Татьяна Колесникова (beluikluk@gmail.com)

В статье рассматривается проектирование схем микроэлектронных устройств с использованием интерфейса I²C в Proteus на примере его реализации в устройстве измерения температуры, собранном на основе микроконтроллера AVR (семейства AT90) и датчиков LM75AD. Описаны особенности написания программного кода на языке C для инициализации интерфейса и работы с ним. Приведён пример моделирования схемы, в которой проводится передача данных через I²C между датчиками температуры, сконфигурированными как ведомые устройства, и ведущим микроконтроллером AT90S8515, компиляция программы инициализации которого выполнена в CodeVisionAVR. Выполнено отображение принятых ведущим устройством данных на экране буквенно-цифрового дисплея LM016L. С помощью осциллографа проведён контроль сигналов, присутствующих на линиях SDA и SCL интерфейса I²C.

Введение

Двухпроводный последовательный интерфейс I²C (Integrated Circuit) обеспечивает взаимодействие микроконтроллера с множеством микросхем (энергонезависимой памятью, контроллерами параллельных портов, LCD-дисплеями, микроконтроллерами и различными специализированными устройствами). Данный интерфейс позволяет объединить до 128 устройств по схеме, приведённой на рис. 1.

Интерфейс представляет собой две линии: одна (SDA) используется для передачи данных, другая (SCL) – для тактовых сигналов. Через резисторы R1, R2 обе линии подключены к источнику питания VCC. Выходы устройств выполнены по схеме с открытым коллектором (стоком), что позволяет реализовать функцию «монтажное И» для выходных сигналов. Низкий уровень сигнала (логический 0) на выходе любого из устройств устанавливает низкий уровень на всей линии. Высокий уровень на линии устанавливается, когда

выводы всех устройств находятся в третьем (высокоимпедансном) состоянии.

Устройство, подключённое к шине, может иметь статус ведущего (master) или ведомого (slave). Статус микроконтроллера устанавливается программно.

Протоколом работы шины предусмотрены:

- отправка ведущим устройством стартового бита начала обмена;
- передача последовательности из семи разрядов адреса ведомого устройства;
- транзакция чтения или записи 8-битовых данных;
- получение ведущим устройством битов подтверждения передачи адреса и данных;
- формирование бита подтверждения после приёма данных;
- отправка ведущим устройством стопового бита.

Шина I²C является последовательной: все данные и адреса передаются по линии SDA поразрядно. Каждый передаваемый бит сопровождается тактовым сигналом на линии SCL. В течение все-

го времени действия сигнала SCL (SCL = 1) состояние линии SDA должно оставаться неизменным. Изменение данных на линии SDA происходит при отсутствии тактового сигнала на линии SCL (SCL = 0). Исключения составляют стартовый и стоповый биты, определяющие начало и конец обмена. Стартовый бит формируется путём изменения уровня сигнала на линии SDA с 1 на 0 при SCL = 1, стоповый бит – при изменении сигнала SDA с 0 на 1 также при SCL = 1.

Протокол обмена по шине предполагает передачу двух типов кадров: с адресом и данными. Кадр 7-разрядного адреса содержит:

- S – стартовый бит;
- A – 7-разрядный адрес ведомого устройства, передаваемый ведущим, начиная со старшего разряда;
- R/W – управляющий бит, определяющий тип транзакции на шине (R/W = 0 – запись, R/W = 1 – чтение);
- ACK – бит подтверждения.

Адрес, передаваемый ведущим устройством после захвата шины, поступает ко всем устройствам, подключённым к ней. Каждое из устройств сравнивает поступающий адрес с собственным. При распознавании ведомым устройством своего адреса оно возвращает на линию SDA сигнал подтверждения ACK низкого уровня во время 9-го тактового сигнала SCL. Если по каким-либо причинам ведомое устройство не способно обслужить запрос ведущего, оно удерживает на линии SDA сигнал высокого уровня. Нулевой адрес используется для общего вызова всех устройств. Управляющий бит в этом случае устанавливается в 0, чтобы обеспечить передачу одного и того же сообщения всем устройствам.

После передачи адреса начинается передача данных. Кадр байта данных содержит восемь битов данных и один бит подтверждения, формируемый приёмником. Данные, так же как и адрес, передаются последовательно бит за битом, начиная со старшего разряда. После приёма каждого байта данных приёмник вырабатывает сигнал подтверждения ACK путём выдачи на линию SDA сигнала низкого уровня. Высокий уровень сигнала свидетельствует

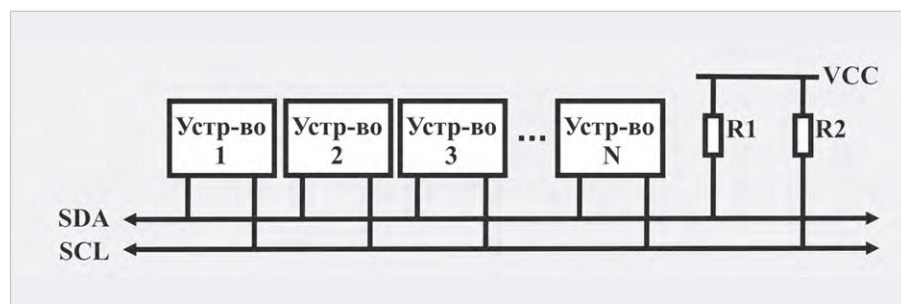


Рис. 1. Схема соединения устройств по интерфейсу I²C

ет об ошибке или невозможности продолжить приём. Не получив подтверждения от приёмника, ведущий может прекратить передачу данных, сформировав сигналы состояния Stop.

После завершения передачи байта данных работа может быть продолжена либо для передачи следующего байта в том же направлении без изменения ведомого, либо выбором нового ведомого и/или сменой направления обмена. При завершении обмена шина освобождается ведущим устройством.

Создание в Proteus схемы передачи данных по I²C между датчиками LM75AD и микроконтроллером AVR

В микроконтроллерах AVR протокол обмена по шине I²C выполняется программно или программно-аппаратно. Программный способ осуществляется с использованием библиотеки функций и применяется в микроконтроллерах семейств ATtiny и AT90, в которых отсутствуют встроенные аппаратные средства, реализующие протокол обмена. Программная реализация протокола I²C для разных случаев взаимодействия устройств представляет собой набор программ, эмулирующих работу ведущего и ведомых устройств с учётом функциональных требований. Наиболее сложным является случай, когда в качестве ведущего и ведомых выступают микроконтроллеры, которые могут быть как передатчиками, так и приёмниками при обмене данными и не имеют встроенных средств обмена по I²C. Более простой случай, когда одно из устройств (микроконтроллер) является ведущим, а ведомые устройства (датчики, устройства памяти, часы реального времени и др.) содержат встроенный порт для обмена по I²C.

Рассмотрим работу с шиной I²C в Proteus на примере схемы термометра, реализованной на микросхемах LM75AD (датчики температуры) и микроконтроллере AT90S8515. Измеренная температура отображается на экране буквенно-цифрового дисплея LM016L.

Библиотека программной среды Proteus содержит как аналоговые, так и цифровые компоненты, а также устройства вывода информации и микроконтроллеры с возможностью их программирования. Большой набор инструментов и функций, среди которых вольтметр, амперметр, осциллограф, генераторы сигналов, а также возможность отлаживать программное обеспечение микроконтроллеров, делают

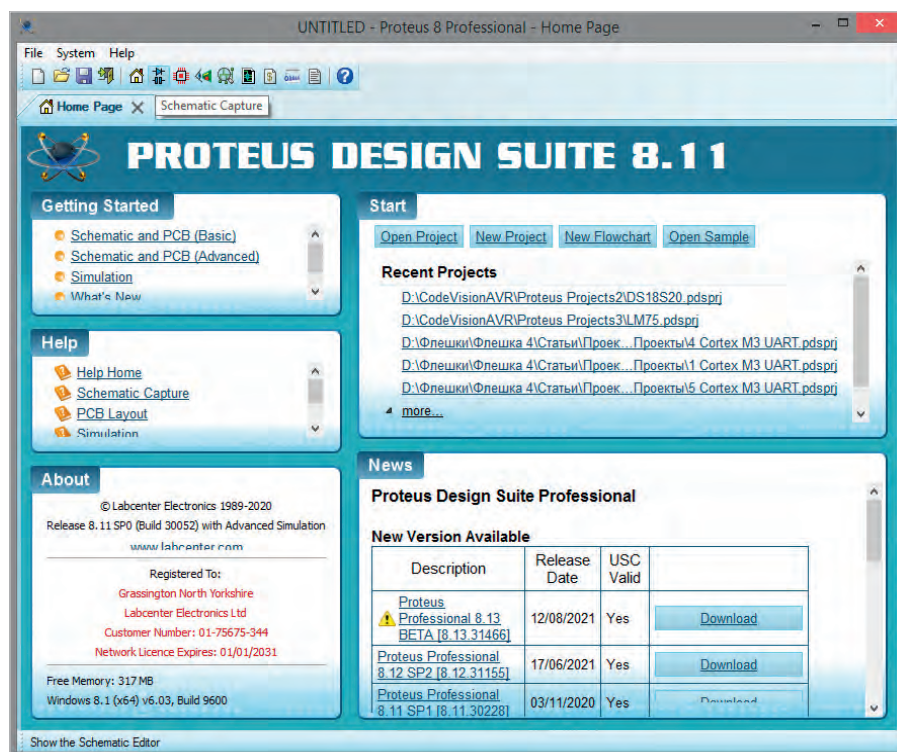


Рис. 2. Стартовое окно программной среды Proteus

Proteus мощным средством разработки электронных устройств, позволяя реализовать на персональном компьютере виртуальную лабораторию, в которой можно максимально приближённо имитировать реальные лабораторные условия, как с точки зрения элементной базы, так и современных приборов. Proteus 8.11 объединяет две основных программы: Schematic Capture – средство разработки и отладки в режиме реального времени электронных схем и PCB Layout – средство разработки печатных плат.

При проектировании устройства измерения температуры, работающего под управлением микроконтроллера AVR, написание программы инициализации и её компиляцию удобно выполнить с помощью CodeVisionAVR 3.12 (интегрированной среды разработки программного обеспечения для микроконтроллеров семейства AVR фирмы Atmel, которая имеет в своём составе компилятор языка C для AVR). В таком случае проект схемы электрической принципиальной создадут без использования мастера – при помощи кнопки Schematic Capture верхней панели инструментов стартового окна Proteus (рис. 2). Нажатие кнопки открывает новую одноимённую вкладку, в рабочем поле которой и будет выполняться разработка схемы.

Соберём схему на основе микроконтроллера AT90S8515, буквенно-цифрового дисплея LM016L и трёх датчиков температуры LM75AD, для чего добавим её

компоненты в рабочую область редактора Schematic Capture и соединим их так, как показано на рис. 3. Выбор компонентов из базы данных для последующего их размещения в рабочей области программы выполняют в окне Pick Devices, которое открывают командой контекстного меню Place/Component/From Libraries или нажатием кнопки P на панели DEVICES (по умолчанию панель расположена в левой части программы и содержит список имеющихся в проекте компонентов). Открывают панель DEVICES нажатием кнопки Component Mode на левой панели инструментов схемного редактора.

Для добавления микросхемы микроконтроллера (рис. 4а) в рабочее поле проекта в левой верхней части окна Pick Devices в поле Category щелчком левой кнопки мыши выбирают из списка библиотеку Microprocessor ICs. Пакет Microprocessor ICs позволяет включать в эмуляцию смешанной схемы определённые микроконтроллеры с возможностью написания и отладки программного кода. В поле Sub-category таким же способом задают семейство микроконтроллеров выбранной библиотеки (в нашем примере AVR Family). Все компоненты семейства отображаются в поле Showing local results. В поле Manufacturer выбирают производителя микроконтроллера. Если производитель не имеет значения – указывают значение All Manufacturers. Для ускорения поиска компонентов можно воспользоваться строкой фильтра

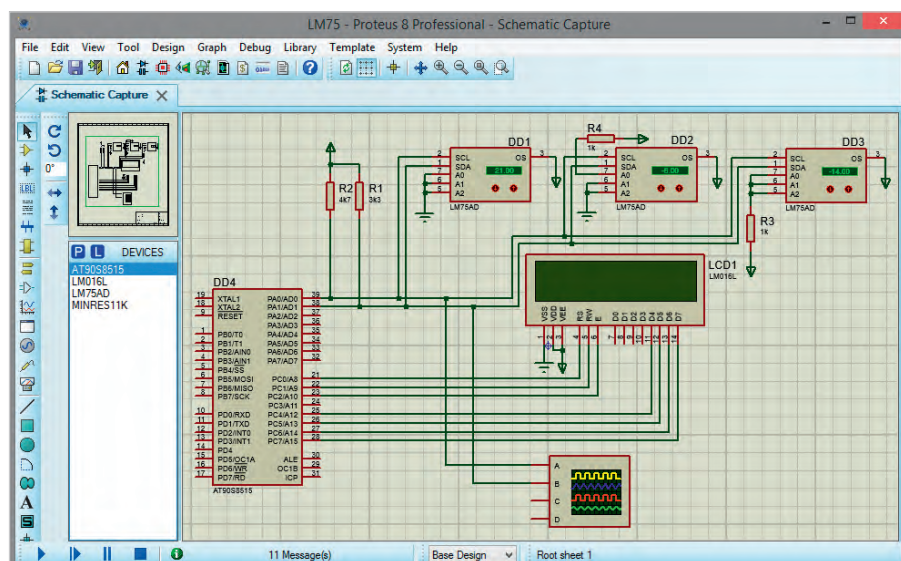


Рис. 3. Подключение к микроконтроллеру AT90S8515 устройства вывода информации и группы датчиков LM75AD по интерфейсу I²C в рабочей области редактора Schematic Capture программы Proteus

Keywords, которая расположена в верхнем левом углу окна Pick Devices. После выбора микроконтроллера (в нашем примере это микросхема AT90S8515) его условное графическое обозначение отобразится в поле предварительного просмотра Preview.

Посадочное место компонента будет показано в поле PCB Preview. Если для микроконтроллера назначено несколько посадочных мест, то все возможные варианты будут доступны для выбора из выпадающего меню, которое расположено под полем

PCB Preview. Для размещения микроконтроллера на схеме нажимают на кнопку OK, после чего окно Pick Devices будет закрыто, а символ компонента прикреплен к курсору мыши, при помощи которого его помещают в нужное место на схеме щелчком левой кнопки мыши.

Аналогичным образом добавим в рабочее поле проекта из раздела 0.6W Metal Film библиотеки Resistors четыре резистора MINRES11K (рис. 4б), а затем микросхему буквенно-цифрового дисплея LM016L [3], которая находится в разделе Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics (рис. 4в).

Микросхема LM016L имеет 14 контактов, назначение которых следующее:

- Vss – GND;
- Vdd – напряжение питания +5 В;
- Vee – напряжение контрастности от 0 до +5 В (настройка контрастности отображаемых на дисплее символов);
- RS – выбор регистра данных DR (RS – 1) или команд IR (RS – 0);
- RW – выбор операции чтения (RW – 1) или записи (RW – 0);
- E – линия синхронизации;

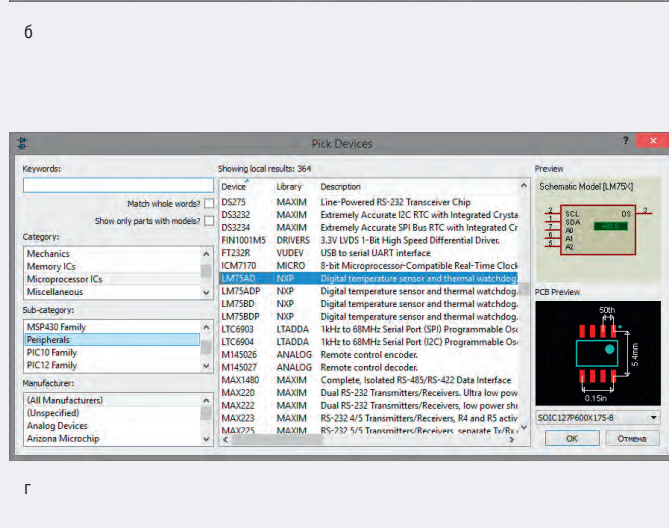
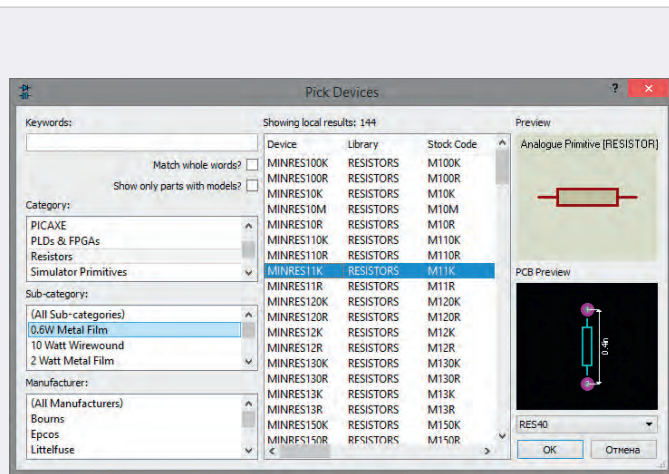
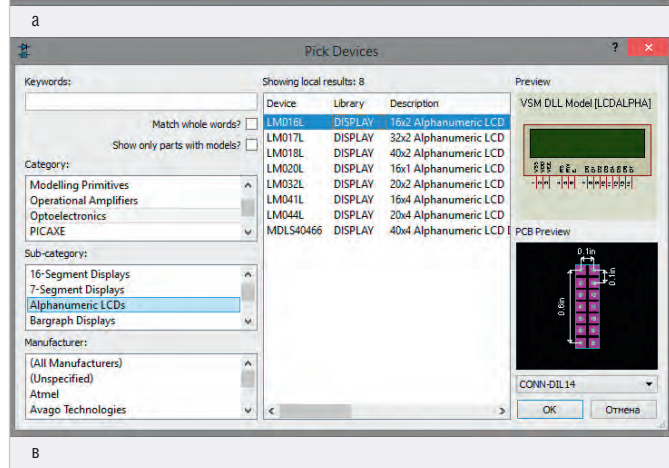
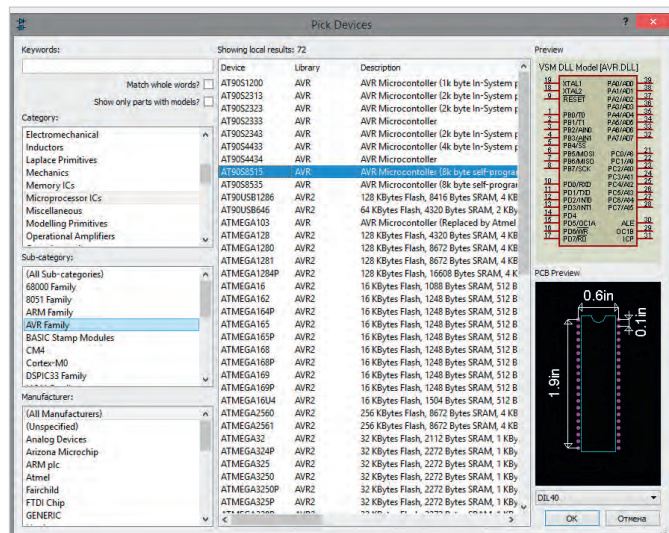


Рис. 4. Раздел: (а) AVR Family библиотеки Microprocessor ICs, (б) 0.6W Metal Film библиотеки Resistors, (в) Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics, (г) Peripherals библиотеки Microprocessor ICs

• D0...D7 – шина данных/команд.
Микросхема LM016L может работать в двух режимах:

- 8-разрядном (для обмена информацией используются выводы D0...D7);
- 4-разрядном (для обмена информацией используются выводы D4...D7).

В представленном примере вывод данных на экран дисплея разрешением 16 символов на 2 строки выполнен в 4-разрядном режиме.

Для подключения микросхемы LM016L к схеме управления используется параллельная синхронная шина данных/команд (D0...D7), вывод выбора операции чтения/записи (RW), вывод выбора регистра данных/команд (RS) и вывод синхронизации (E). Подсоединим выводы модуля дисплея D4...D7 к выводам PC4...PC7, а выводы RS, RW и E к выводам PC0...PC2 микроконтроллера AT90S8515 так, как показано на рис. 3.

Выводы Vss и Vdd подключим к «земле» и напряжению +5 В соответственно. На вывод Vee подаётся напряжение контрастности (от 0 до +5 В). На практике этот вывод подключают к питанию через подстроечный резистор, который позво-

ляет плавно регулировать контрастность отображения символов на дисплее.

Символы «земли» и питания добавляют в схему, выбрав на панели TERMINALS (рис. 5) строки GROUND и POWER. Панель открывают нажатием кнопки Terminals Mode на левой панели схемного редактора. Выбор линий портов микроконтроллера для подключения к указанным выводам дисплея выполняется разработчиком произвольно. В окне свойств дисплея (окно открывают двойным щелчком левой кнопки мыши после его выделения на схеме) в поле Advanced Properties из выпадающего списка выбирают пункт Clock Frequency (тактовая частота) – рис. 6а, значение которой должно совпадать с частотой работы микроконтроллера (в нашем примере 3,6864 МГц).

Из раздела Peripherals библиотеки Microprocessor ICs добавим в рабочую область проекта три датчика температуры (рис. 4г), разместим их так, как показано на рис. 3, и подсоединим их выводы SCL и SDA к выводам PA0 и PA1 микроконтроллера, а выводы OS к символу питания.

Для каждого датчика в окне его свойств (окно открывают командой Edit Properties

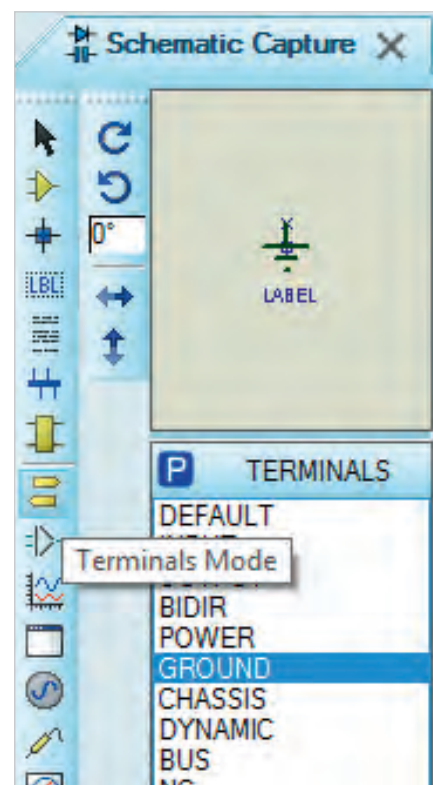


Рис. 5. Открытие с помощью кнопки Terminals Mode панели TERMINALS и выбор символа «земли»

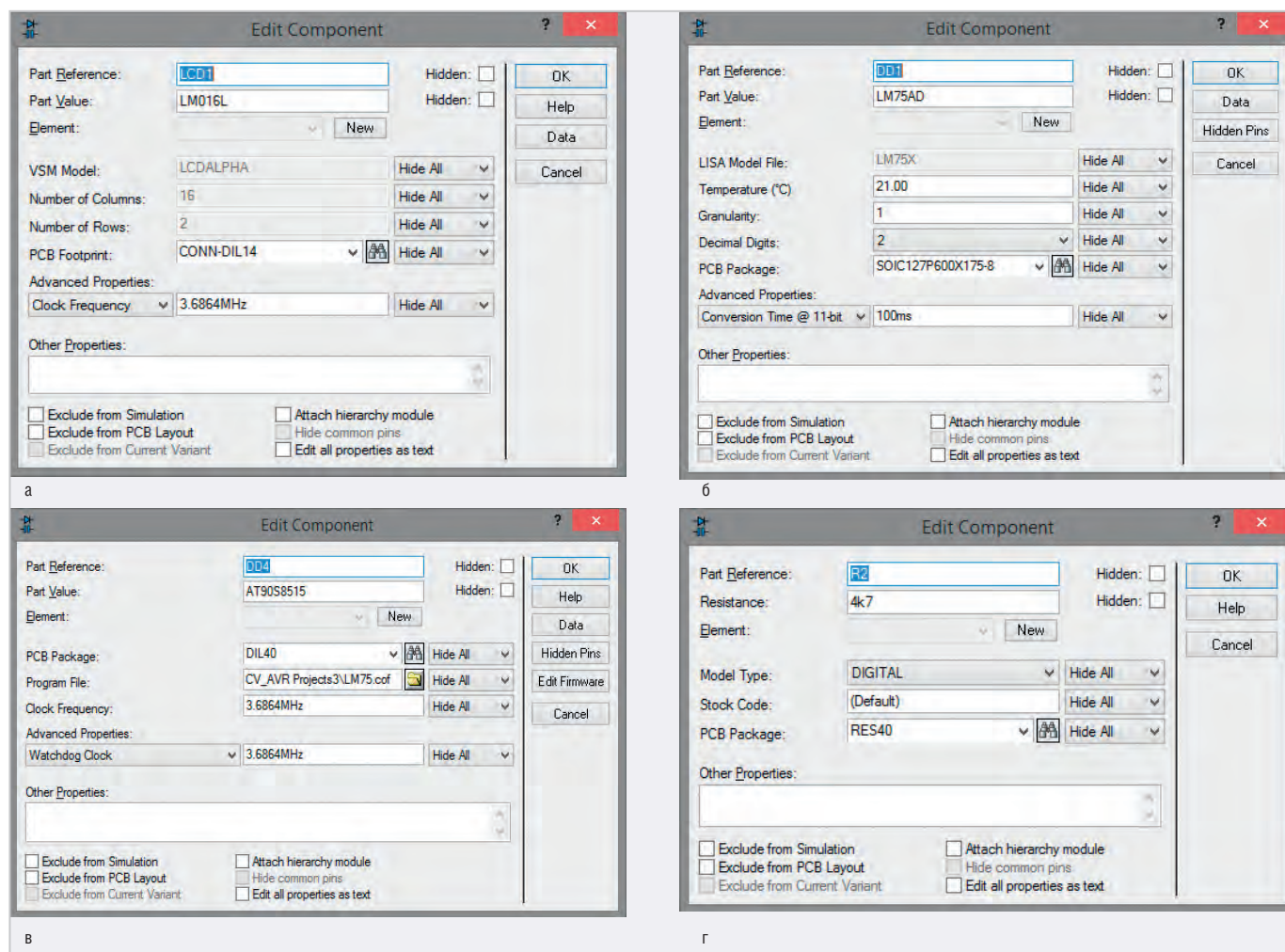


Рис. 6. Окно свойств: (а) микросхемы LM016L, (б) датчика температуры LM75AD, (в) микроконтроллера AT90S8515, (г) резистора

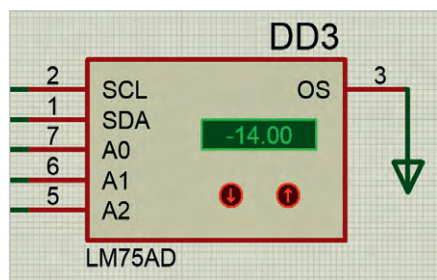


Рис. 7. Приближённый вид датчика температуры LM75AD на схеме

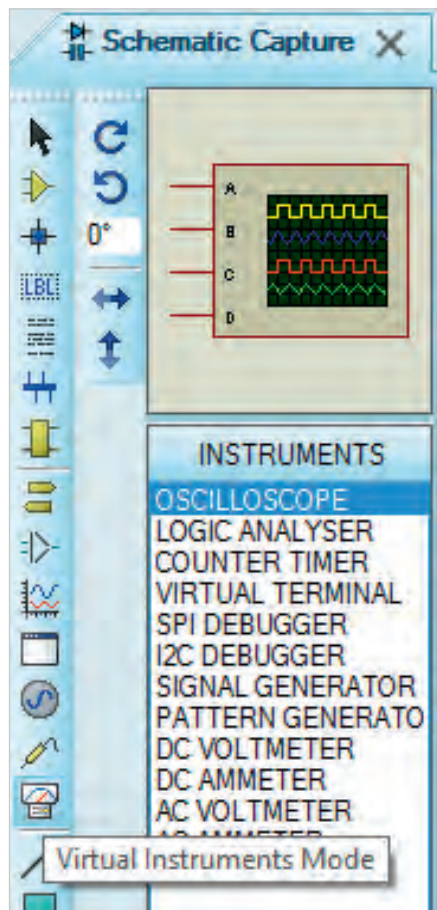


Рис. 8. Открытие с помощью кнопки Virtual Instruments Mode панели INSTRUMENTS и выбор четырёхканального осциллографа

контекстного меню, которое вызывают щелчком правой кнопки мыши по пиктограмме датчика на схеме) определим следующие параметры (рис. 6б):

- текущее значение температуры (поле Temperature (°C)) – в нашем примере 21,00; –6,00; –14,00 °C;
- точность измерения (поле Granularity) – 1 °C;
- количество знаков после запятой (поле Decimal Digits) – 2.

С помощью переключателей «↑» и «↓», размещённых на пиктограмме (рис. 7), температуру датчика можно подстраивать на схеме.

Датчик LM75AD (цифровой температурный датчик с интерфейсом I²C) име-

ет восемь контактов, назначение которых следующее:

- GND – «земля»;
- A0, A1, A2 – линии, задающие адрес устройства;
- OS – сигнал превышения заданного порога температуры;
- SDA, SCL – линии шины I²C;
- VCC – напряжение питания +5 В.

Линии питания и «земли» на пиктограмме датчика в Proteus отсутствуют.

Микросхема LM75AD содержит встроенную оперативную память и схему слежения для контроля выхода температуры за установленное пользователем пороговое значение. Взаимодействие микросхемы с микроконтроллером обеспечивает двухпроводный последовательный интерфейс I²C, который представляет собой две линии: одна (SDA) используется для передачи данных, другая (SCL) – для тактовых сигналов. В нашем примере для шины I²C используются линии PA0 и PA1 микроконтроллера. Через резисторы R1 (3,3 кОм), R2 (4,7 кОм) обе линии подключены к источнику питания +5 В.

Slave-адрес каждого устройства шины I²C представляет собой байт, где четыре старших бита являются идентификатором типа устройства. Значение следующих трёх битов является адресом устройства. Самый младший бит slave-адреса определяется тем, что хочет делать основное устройство master – читать или записывать. При чтении этот бит – 1, при записи – 0. Часть slave-адреса A0...A2 является адресом устройства, для определения которого его соответствующие выводы A0, A1 и A2 подключают к «земле» или через подтягивающие резисторы ёмкостью 1 кОм к напряжению +5 В.

В нашем примере к шине I²C подключено три ведомых устройства (датчики температуры). Комбинация сигналов на выводах A0...A2 определяет номер датчика на шине. Датчик DD1 определён как ведомое устройство под номером 0 (все его адресные выводы подключены к «земле»). Датчикам DD2 и DD3 присвоены номера 1 и 7, что определено комбинацией сигналов 100 (вывод A0 подключён к напряжению +5 В, а выводы A1 и A2 – к «земле») и 111 (все адресные выводы подключены к напряжению +5 В) на выводах A0...A2. После передачи адреса начинается передача данных.

Для настройки параметров микроконтроллера откроем окно его свойств (рис. 6в) и укажем путь к файлу hex (или sof) на диске компьютера (поле Program File), значение тактовой частоты микро-

контроллера (поле Clock Frequency) – 3,6864 МГц и частоты сторожевого таймера Watchdog Clock (поле Advanced Properties) – 3,6864 МГц. В окне настроек резисторов (рис. 6г) в поле Resistance укажем их сопротивление (для R1 – 3,3 кОм, для R2 – 4,7 кОм, для R3, R4 – 1 кОм).

Для исследования работы интерфейса I²C применим такой виртуальный инструмент программы Proteus, как четырёхканальный осциллограф, каналы А и В которого подключим к выводам PA0, PA1 микроконтроллера так, как показано на рис. 3, для чего выберем строку OSCILLOSCOPE на панели INSTRUMENTS (рис. 8) и разместим прибор при помощи мыши в рабочем поле программы. Чтобы открыть панель INSTRUMENTS, на левой панели инструментов схемного редактора нажмём на пиктограмму Virtual Instruments Mode.

В Proteus осциллограф имеет четыре сигнальных входа (каналы А, В, С и D) и может отображать осциллограммы четырёх сигналов одновременно. Осциллограф заземлён по умолчанию, поэтому вывод заземления отсутствует. Также отсутствует и вывод внешней синхронизации. Лицевая панель прибора открывается вследствие запуска симуляции схемы. Пиктограмма используется для подключения прибора к схеме, в свою очередь, лицевая панель предназначена для настройки прибора и наблюдения формы исследуемых сигналов. В левой части лицевой панели четырёхканального осциллографа расположен графический дисплей, который предназначен для графического отображения формы сигнала, а именно: для отображения напряжения по вертикальной оси и, соответственно, времени по горизонтальной оси. Также прибор оснащён курсорами для проведения измерений во временной области, которые при необходимости можно перемещать при помощи левой кнопки мыши. Добавление курсоров становится возможным после нажатия на кнопку Cursors в окне Trigger панели управления осциллографа, которая находится в правой части его лицевой панели и предназначена для настройки отображения измеряемого сигнала. На панели управления размещено шесть окон настроек:

- Trigger (Синхронизация);
- Channel A (Канал А);
- Channel C (Канал С);
- Channel B (Канал В);
- Channel D (Канал D);
- Horizontal (Развёртка).

В нижней части окна Channel А расположена ручка, при помощи которой зада-

ётся величина деления по оси Y (количество вольт на деление). Начальная точка вывода сигнала на оси Y указывается в поле Position. Поле может принимать как положительное, так и отрицательное значение. Выбор положительного значения в данном поле сдвигает начальную точку вверх по оси Y, соответственно выбор отрицательного значения сдвигает начальную точку вниз. Выбор режима работы осуществляется посредством установки ползунка в одну из четырёх позиций: AC, DC, GND, OFF. В режиме AC отображается только переменная составляющая сигнала. В режиме DC отображается сумма переменной и постоянной составляющих сигнала. В случае выбора позиции GND входной канал замыкается на землю, а на экране графического дисплея отображается прямая линия в точке исходной установки оси Y. Установка ползунка в позицию OFF выключает отображение сигнала на дисплее. Также в окне Channel A расположено две кнопки:

- Invert – задаёт инверсный режим работы осциллографа, в котором сигнал инвертируется относительно положения нуля;
- A+B – задаёт режим, в котором на экране графического дисплея отображается суммарный сигнал каналов A и B.

Интерфейс окон Channel C, Channel B, Channel D аналогичен уже рассмотренному окну Channel A за исключением того, что в окне Channel C вместо кнопки A+B присутствует кнопка C+D, задающая режим, в котором на экране графического дисплея отображается суммарный сигнал каналов C и D. В окнах Channel B и Channel D такая кнопка вообще отсутствует.

В нижней части окна Horizontal расположена ручка, при помощи которой задаётся величина деления по оси X. Начальная точка вывода сигнала на оси X указывается в поле Position. Поле может принимать как положительное, так и отрицательное значение. Отображение сигнала на экране графического дисплея производится слева направо. Выбор положительного значения в данном поле сдвигает начальную точку вывода сигнала вправо, соответственно выбор отрицательного значения сдвигает начальную точку влево. Выбор режима развёртки осуществляется в поле Source посредством установки ползунка в одну из следующих позиций: $\wedge$, A, B, C, D. В случае выбора режима $\wedge$ (сигнал по оси Y/время) на экране графического дисплея по оси Y будут отобра-

жаться сигналы каналов A, B, C, D, а ось X будет осью времени. Режимы A, B, C, D – это режимы наблюдения фигур Лиссажу. Выбор такого режима может быть полезен для изучения фаз сигналов.

В верхней левой части панели управления осциллографа размещено окно Trigger (Синхронизация). Выбор канала для запуска синхронизации производится в поле Source посредством установки ползунка в одну из следующих позиций: A, B, C, D. Осуществить выбор запуска сигнала синхронизации – по фронту или по срезу – можно в соответствующем поле посредством установки ползунка в одну из позиций.

В правой части окна Trigger находятся кнопки выбора режима синхронизации:

- One-Shot (Однократный) – режим ожидания сигнала синхронизации (используется для регистрации однократного сигнала);
- Auto (Автоматический) – запуск осциллограммы производится автоматически при подключении осциллографа к схеме и включении эмуляции схемы.

Результаты работы четырёхканального осциллографа отображаются на экране графического дисплея, расположенном в левой части лицевой панели данного прибора, в виде кривых, которые представляют входные сигналы, полученные с входов A, B, C, D. В нашем примере осциллограф применён для отображения сигналов SDA и SCL интерфейса I²C.

После создания схемы, подключения всех приборов и настройки их параметров переходят к следующему этапу разработки: написанию программного кода управления устройством с помощью CodeVisionAVR. Среда разработки поддерживает все базовые конструкции языка C, которые используются при написании программ (алфавит, константы, идентификаторы, комментарии) и разрешены архитектурой AVR, с некоторыми добавленными характеристиками, реализующими преимущество специфики архитектуры AVR. Используя специальные директивы в любом месте программы, можно включить ассемблерный код. В CodeVisionAVR имеется набор команд управления буквенно-цифровыми дисплеями и датчиками температуры, функции шины I²C и доступа к памяти. Программные средства позволяют напрямую обращаться к регистрам микроконтроллера и управлять состоянием линий портов.

В результате компиляции программного кода управления устройством (при

условии отсутствия в коде ошибок) на диске компьютера будет получен hex-файл, путь к которому указывают в окне свойств микроконтроллера в Proteus.

Завершающим этапом работы в Proteus является запуск процесса моделирования схемы в редакторе Schematic Capture, который выполняют кнопкой Run the simulation, расположенной в левом нижнем углу окна редактора или командой основного меню Debug/Run Simulation. Временную приостановку процесса симуляции выполняют кнопкой Pause the simulation, or start up at time 0 if stopped (кнопка находится в левом нижнем углу окна редактора). Останавливают моделирование кнопкой Stop the simulation.

Создание программного кода в CodeVisionAVR

Формирование программного кода в CodeVisionAVR выполняют при помощи автоматического генератора CodeWizardAVR (для быстрого получения кода, который требует редактирования) или вручную с нуля, используя синтаксис языка программирования C и функции стандартных библиотек программы. Одна часть библиотек встроена в компилятор, другая (файлы с расширением .lib) располагается в поддиректории \LIB. Каждая библиотека представляет собой набор определённых функций, среди которых функции шины I²C для работы с температурными датчиками LM75AD (библиотека lm75.lib) и LCD-функции для работы с дисплеем (библиотека lcd.lib). Для использования в программе библиотечных функций необходимо подключить с помощью директивы #include соответствующие заголовочные файлы (lm75.h – для работы с датчиком LM74AD, lcd.h – для работы с буквенно-цифровым дисплеем).

Функции протокола I²C рассматривают микроконтроллер как master (ведущий) шины, а периферийные устройства – как slaves (ведомые). Их применяют для:

- инициализации шины I²C (функция void i2c_init(void));
- чтения байта из шины (функция unsigned char i2c_read (unsigned char ack)). Параметр ack (подтверждение прочтения байта) устанавливают в 0, когда подтверждение не требуется, или в 1, когда должно быть выдано подтверждение после прочтения байта данных;
- записи байта data в шину (функция unsigned char i2c_write (unsigned char data)).

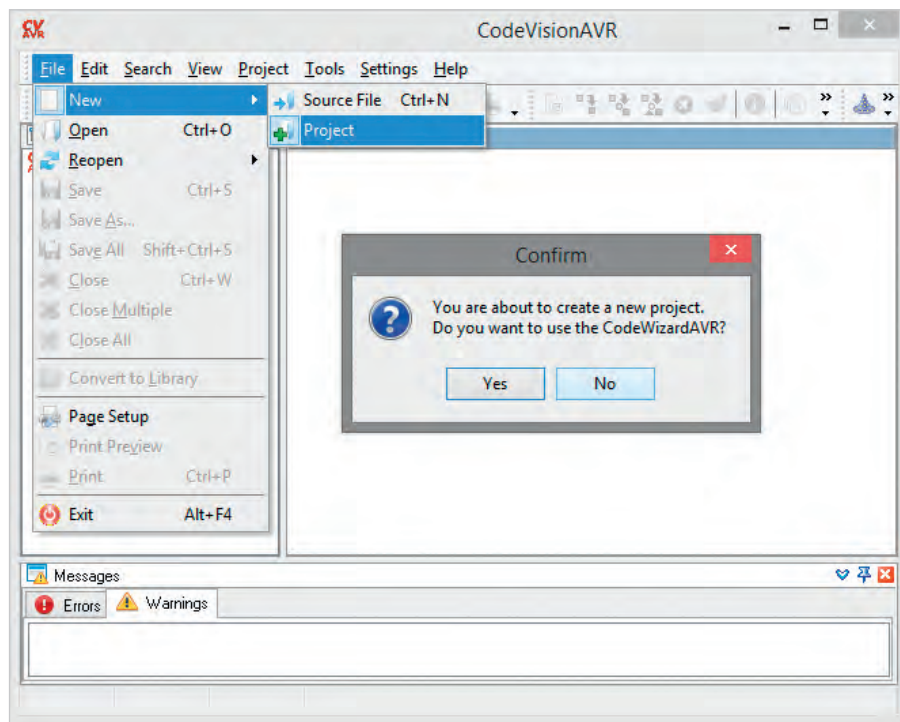


Рис. 9. Создание нового проекта в CodeVisionAVR

Прототипы этих функций размещаются в файле `i2c.h`, расположенном в поддиректории `..\INC`. Перед их использованием в коде программы инициализации микроконтроллера необходимо объявить порт и биты микроконтроллера для связи через шину I²C, а директивой `#include` подключить файл `i2c.h`.

Для работы с датчиком LM75AD применяют следующие функции:

- **void `lm75_init`** (unsigned char chip, signed char thyst, signed char tos, unsigned char pol) – функция инициализации датчика температуры, которую вызывают для всех имеющихся в проекте датчиков, подключённых к шине I²C (их количество не должно превышать 8). В программе адрес датчиков (от 0 до 7) задают с помощью параметра `chip`, на схеме – с помощью подачи комбинации нулей и единиц на выходы A0...A2. Например, комбинацией сигналов 111 определяют седьмой подключённый к шине датчик. Вывод OS становится активным, когда температура, выраженная в °C, превышает предел `tos` и выходит из активного состояния, когда температура падает ниже предела `thyst`. Параметр `pol` представляет полярность выхода OS в активном состоянии. Если `pol = 0`, активным является низкий уровень, а если `pol = 1`, то высокий уровень. Прежде чем вызвать функцию инициализации датчика температуры, должна быть инициализирована шина I²C;
- **int `lm75_temperature_10`** (unsigned char chip) – функция определения тем-

пературы датчика с адресом `chip`. Температура выражена в °C и умножена на 10.

Прототипы этих функций размещаются в файле `lm75.h`, который в программе подключают директивой `#include`. До подключения файла `lm75.h` необходимо объявить порт микроконтроллера и его биты для связи с датчиком LM75AD через шину I²C.

Создание нового проекта в CodeVisionAVR

Новый проект в CodeVisionAVR создают командой основного меню `File/New/Project`. В процессе создания открывается диалоговое окно, где система предлагает воспользоваться генератором кода CodeWizardAVR, с помощью которого задают параметры микроконтроллера, его внутренних ресурсов и используемых в схеме периферийных устройств. Удобство применения генератора состоит в быстром получении кода выполнения функций инициализации микроконтроллера и его портов ввода/вывода, аналогового компаратора, таймеров/счётчиков, интерфейса UART и SPI, буквенно-цифровых и графических дисплеев и др. Однако в процессе работы мастера формируется достаточно объёмный код, который впоследствии приходится редактировать.

В нашем примере все настройки будут выполнены вручную программным способом, поэтому от запуска CodeWizardAVR можно отказаться, нажав на кнопку `No` (рис. 9). В результа-

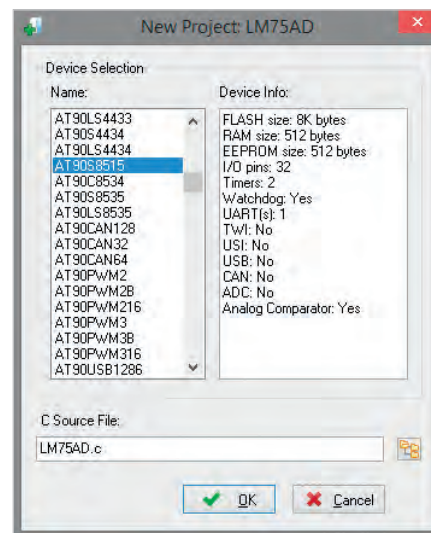


Рис. 10. Выбор микроконтроллера AT90S8515 в окне New Project

те будет открыто окно выбора директории размещения нового проекта `Create New Project`, где указывают имя проекта (поле «Имя файла») и его тип (поле «Тип файла»). Кнопкой «Сохранить» открывают окно `New Project` (рис. 10), где в поле `Name` выбирают микроконтроллер, под управлением которого работает собранная схема (его описание отобразится в поле `Device Info`). Далее нажатием кнопки `OK` открывают окно настройки параметров проекта CodeVisionAVR (`Configure Project`), переходят на вкладку `C Compiler`, на которой выбирают закладку `Code Generation` (рис. 11), где указывают:

- размер стека данных в байтах (поле `Data Stack Size`) – для компиляции кода в нашем примере значения 128 будет достаточно;
- размер внутренней (поле `Internal RAM Size`) и внешней (поле `External RAM Size`) оперативной памяти – 512 и 0 байт соответственно;
- тактовую частоту микроконтроллера (поле `Clock`) – 3,6864 МГц;
- модель памяти (поле `Memory Model`) – `Small`.

Другие параметры оставим без изменений и нажмём на кнопку `OK`. В результате этого будет создан новый проект CodeVisionAVR, в окне кода которого и будет вестись дальнейшее написание программы измерения температуры.

Формирование и компиляция программного кода передачи по I²C измеренной датчиками температуры

Для измерения с помощью датчиков LM75AD температуры и её отображения на экране буквенно-цифрового дисплея напомним программу инициа-

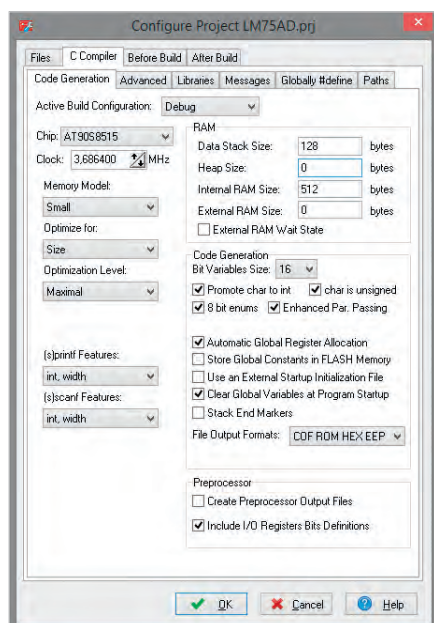


Рис. 11. Закладка Code Generation окна настройки параметров проекта CodeVisionAVR

лизации микроконтроллера на языке C с применением стандартных функций CodeVisionAVR.

Текст программы:

```
#asm
.equ __i2c_port=0x1b // для связи
через шину I2C используем
.equ __scl_bit=0 // 0 бит и
.equ __sda_bit=1 // 1 бит порта
РА микроконтроллера AT90S8515
#endasm

#asm
.equ __lcd_port=0x15 // для под-
ключения LCD-дисплея используем
порт PC
#endasm

#include <lm75.h> // подключение
заголовочных файлов
#include <stdio.h> // в которых
содержатся
#include <90s8515.h> // прототи-
пы функций
#include <delay.h>
#include <lcd.h>

char lcd_buffer[33]; // объяв-
ление массива данных для вывода
на экран дисплея

void main(void) // основная функ-
ция программы
{ int i[3]={0,1,7}; // массив, в
котором хранятся адреса датчиков
char sign;
int temp, j;
lcd_init(16); // инициализация
дисплея
```

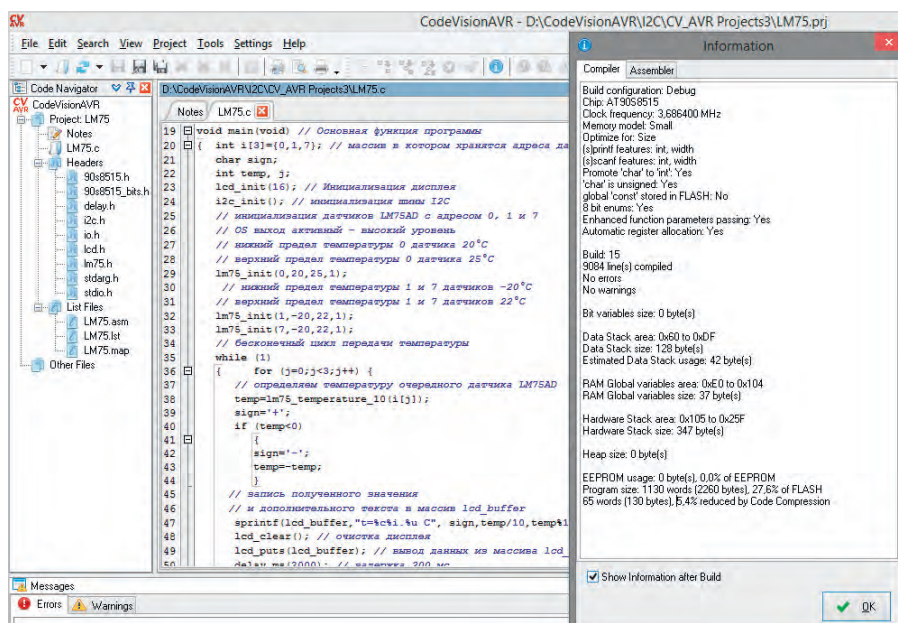


Рис. 12. Программа передачи по I²C измеренной датчиками LM75AD температуры в окне кода CodeVisionAVR и результат её компиляции

```
i2c_init(); // инициализация шины
I2C

// инициализация датчиков LM75AD
с адресом 0, 1 и 7
// OS выход активный - высокий
уровень
// нижний предел температуры 0
датчика 20°C
// верхний предел температуры 0
датчика 25°C
lm75_init(0,20,25,1);
// нижний предел температуры 1 и
7 датчиков -20°C
// верхний предел температуры 1
и 7 датчиков 22°C
lm75_init(1,-20,22,1);
lm75_init(7,-20,22,1);
// бесконечный цикл передачи тем-
пературы
while (1)
{ for (j=0;j<3;j++) {
// определяем температуру очеред-
ного датчика LM75AD
temp=lm75_temperature_10(i[j]);
sign='+';
if (temp<0)
{
sign='-';
temp=-temp;
}
// запись полученного значения
// и дополнительного текста в мас-
сив lcd_buffer
sprintf(lcd_buffer,"t=%c%i.%u C",
sign,temp/10,temp%10);
lcd_clear(); // очистка дисплея
lcd_puts(lcd_buffer); // вывод
данных из массива lcd_buffer на
экран дисплея
```

```
delay_ms(2000); // задержка 2000 мс
} } }.
```

Введём текст программы в окне кода CodeVisionAVR и запустим компиляцию (рис. 12). После чего перейдём в Proteus и в окне свойств микросхемы AT90S8515 укажем путь к файлу прошивки на диске компьютера. Запустим моделирование собранной схемы, результат которого представлен на рис. 13, и проанализируем её работу.

После запуска программа инициализации определяет биты порта микроконтроллера для связи через шину I²C. Для этого в программу включен ассемблерный код:

```
#asm
.equ __i2c_port=0x1b
.equ __scl_bit=0
.equ __sda_bit=1
#endasm,
```

в котором директива ассемблера .equ присваивает идентификатору __i2c_port значение, соответствующее адресу регистра PORTA порта РА микроконтроллера. Этот адрес прописан в строке **sfrb PORTA=0x1b**; находящегося в поддиректории INC файла 90s8515.h. Идентификаторам __scl_bit и __sda_bit директивы .equ присваивают значения номеров соответствующих битов, которые будут использованы для передачи данных через линии SCL, SDA шины I²C. Директива #asm оповещает компилятор о начале ассемблерного кода, а директива #endasm – о его завершении.

В следующем блоке кода объявлен порт микроконтроллера для подключения LCD-дисплея:

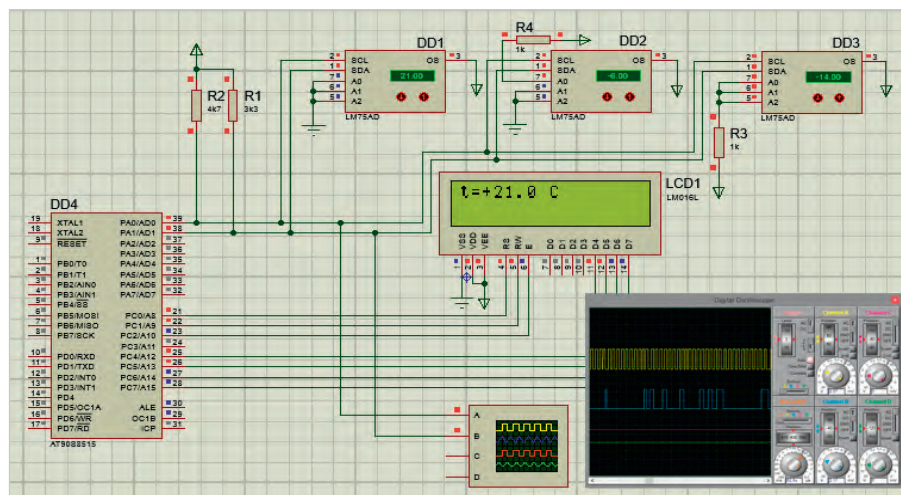


Рис. 13. Результат работы схемы измерения температуры с помощью датчиков LM75AD

```
#asm
.equ _lcd_port=0x15
#endasm.
```

Во второй строке кода директива ассемблера `.equ` присваивает идентификатору `_lcd_port` значение, соответствующее адресу регистра PORTC порта PC, которое при необходимости можно найти в строке `sfrb PORTC=0x15`; файла 90s8515.h.

При трансляции ассемблерного кода, полученного при компиляции данного проекта компилятором C CodeVisionAVR, ассемблер вместо идентификаторов `_scl_bit`, `_sda_bit`, `_lcd_port` подставит их значения. В случае модификации программы при использовании другого порта или битов для

связи через шину I²C, а также другого порта для подключения LCD-дисплея, достаточно будет лишь заменить значения в указанных директивах `.equ`, не изменяя остального текста программы.

Директивами `#include` подключаются LCD-функции, функции температурного датчика LM75AD, микроконтроллера AT90S8515, ввода/вывода, задержки. Перед компиляцией препроцессор компилятора вставит вместо этих строк текст соответствующих файлов.

В строке `char lcd_buffer[33]` объявляется глобальный символьный массив `lcd_buffer`, состоящий из 33 элементов, для хранения предназначенной для вывода на LCD-дисплей информации. Массив будет расположен в SRAM микроконтроллера.

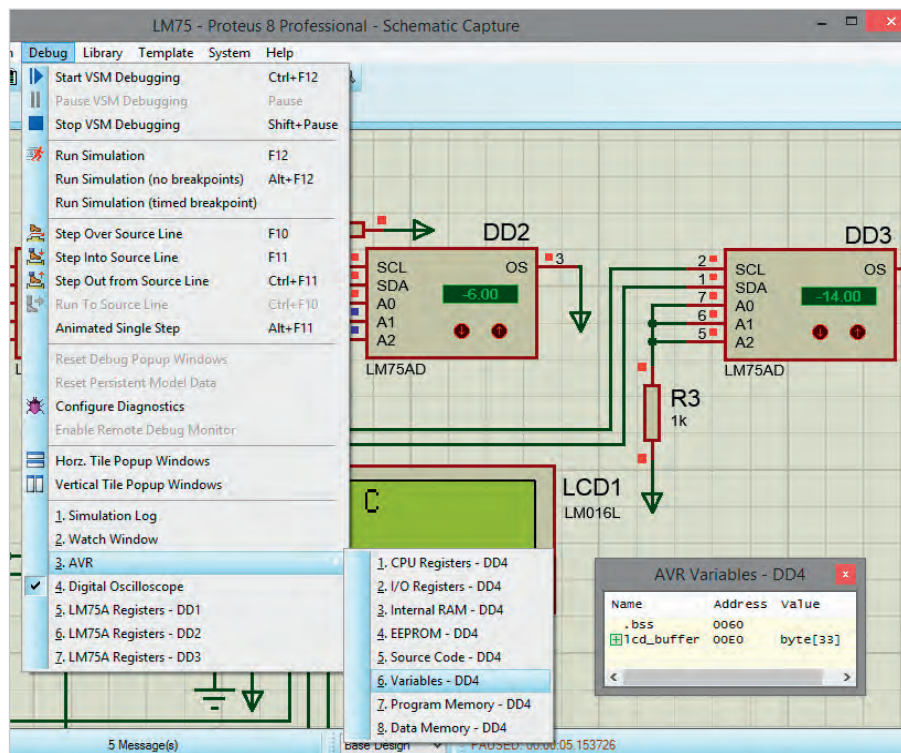


Рис. 15. Открытие окна AVR Variables

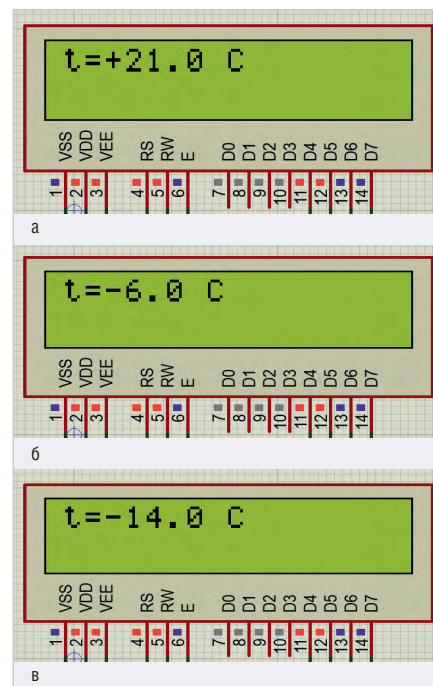


Рис. 14. Приблизительный вид LCD-дисплея, на котором отображается температура, измеренная датчиком №: (а) 0, (б) 1, (в) 7

лера. Все его элементы автоматически инициализируются со значением 0.

Далее выполняется основная функция программы `void main(void)`, из которой осуществляется последовательный вызов:

- функции `lcd_init(16)` с параметром 16 (количество столбцов в LCD-модуле) для инициализации LCD-модуля, очистки дисплея и установки позиции для вывода символов в 0 ряд 0 столбца;
- функции `i2c_init()` для инициализации шины I²C;
- функции `lm75_init(0,20,25,1)` с параметрами 0 (адрес датчика), 20 (нижний предел температуры), 25 (верхний предел температуры), 1 (активным уровнем OS является высокий), которая инициализирует датчик температуры с адресом 0;
- функции `lm75_init(1,-20,22,1)` с параметрами 1 (адрес датчика), -20 (нижний предел температуры), 22 (верхний предел температуры), 1 (активным уровнем OS является высокий), которая инициализирует датчик температуры с адресом 1;
- функции `lm75_init(7,-20,22,1)` с параметрами 7 (адрес датчика), -20 (нижний предел температуры), 22 (верхний предел температуры), 1 (активным уровнем OS является высокий), которая инициализирует датчик температуры с адресом 7.

После этого программа переходит в бесконечный цикл отображения измеренной

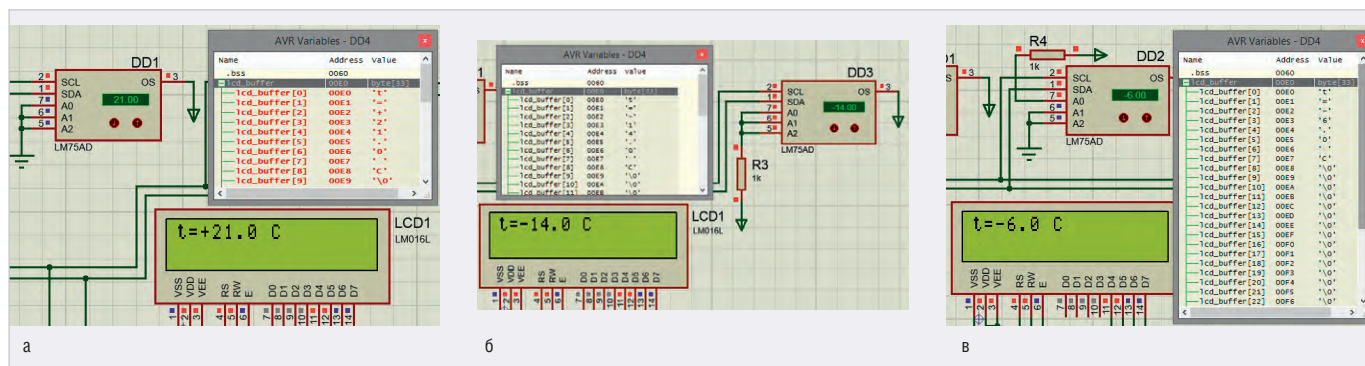


Рис. 16. Проверка значений массива `lcd_buffer` после отображения на экране дисплея измеренной датчиками LM75AD температуры: (а) +21 °С, (б) –14 °С, (в) –6 °С

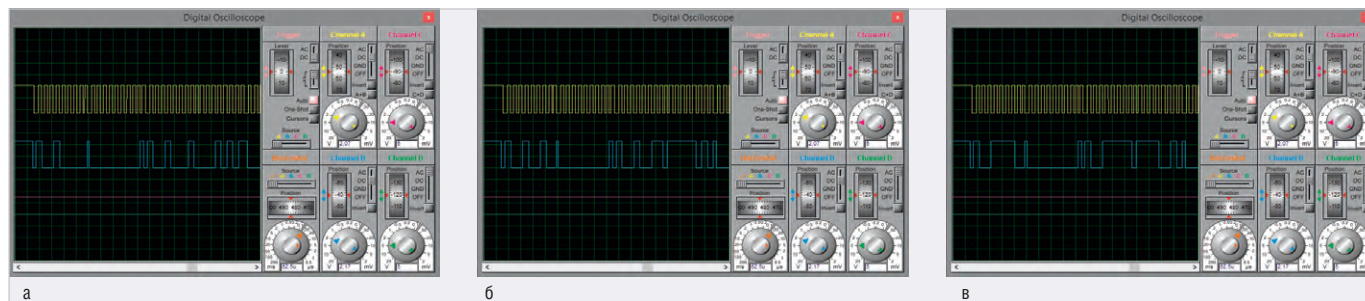


Рис. 17. Временные диаграммы сигналов SCL и SDA после передачи по интерфейсу I²C температуры, измеренной датчиком №: (а) 0, (б) 1, (в) 7

температуры while (1). При этом поочередно через каждые 2000 мс считывается и выводится на экран дисплея значение температуры, измеренное каждым датчиком (рис. 14а...14в). Дойдя до последнего датчика, измерение снова начинается с первого и т.д. Адреса датчиков хранятся в массиве `int i[3]={0,1,7}`. Для датчика с адресом 0 с помощью функции `lm75_temperature_10(0)` будет выполняться измерение температуры, запись полученного значения и дополнительно текста в массив `lcd_buffer` с помощью функции `sprintf(lcd_buffer, "t=%c%i.%u C", sign, temp/10, temp%10)` и вывод содержимого массива на экран дисплея с помощью функции `lcd_puts(lcd_buffer)`. Эти же действия будут выполнены для датчиков с адресом 1 и 7.

Вызов функции `main` происходит после подачи питания или аппаратного сброса на выводе RESET микроконтроллера. Затем последовательно выполняются функции инициализации дисплея (`lcd_init`), шины I²C (`i2c_init`) и датчика температуры LM75AD (`lm75_init`). После этого программа переходит к выполнению бесконечного цикла, в котором значение температуры считывается с датчика с помощью функции `lm75_temperature_10`. Далее выполняется запись полученной информации и дополнительного текста в массив `lcd_buffer` с помощью функции `sprintf` и его отображение с помощью функции `lcd_puts` на экране дисплея, предварительно очищенного с помощью функции

`lcd_clear`. Рядом со значением отрицательной температуры выводится знак «-», если температура выше нуля, то знак «+». После этого происходит задержка в 2000 мс, и цикл повторяется.

Приостановим моделирование кнопкой `Pause the simulation, or start up at time 0 if stopped` и проверим значения элементов массива `lcd_buffer`. Для чего, используя команду основного меню `Debug/AVR/Variables`, откроем окно `AVR Variables` (рис. 15) и щелчком левой кнопки мыши по значку «+» раскроем список `lcd_buffer`. Как видно на рис. 16а, в ячейки 0...8 массива `lcd_buffer` записаны символы, которые совпадают с отображенными на экране дисплея «t=+21.0 C»:

```
lcd_buffer[0] 't'
lcd_buffer[1] '='
lcd_buffer[2] '+'
lcd_buffer[3] '2'
lcd_buffer[4] '1'
lcd_buffer[5] '.'
lcd_buffer[6] '0'
lcd_buffer[7] ' '
lcd_buffer[8] 'C'.
```

После получения нового значения температуры, измеренной очередным датчиком, изменится значение символов в третьей и четвертой ячейках массива `lcd_buffer` в окне `AVR Variables` (рис. 16б), а если температура ниже нуля, то и символ во второй ячейке массива. Если двузначное значение температуры сменится однозначным (рис. 16в), то символы, записанные в

5...8 ячейках, сдвинутся на место ячеек 4...7, т.е. на одну позицию влево в массиве.

На рис. 17а...17в показаны временные диаграммы сигналов SCL и SDA интерфейса I²C, полученные с помощью виртуального осциллографа. Отображение диаграмм на лицевой панели `Digital Oscilloscope`отрегулируем с помощью ручек управления. Установим в окнах `Channel A`, `Channel B` маленькую ручку в позицию 3 mV, большую ручку в позицию 2 V. Установим маленькую ручку в позицию 5 μs, а большую ручку в позицию 50 μs в окне `Horizontal`. Установим режим работы осциллографа: DC. Желтая диаграмма соответствует сигналу синхронизации SCL, который поступает на вход А осциллографа. Голубая диаграмма получена с входа В осциллографа и отображает данные, которые передаются через линию SDA.

Литература

1. ISIS Help, Labcenter Electronics, 2014.
2. CodeVisionAVR Help, HP InfoTech, 2014.
3. HD44780U (LCD-II) (Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver). Hitachi, Ltd. 1998.
4. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007.
5. Proteus VSM Help, Labcenter Electronics, 2020.
6. Хартов В.Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.



Delta Design Simtera. Новости первой российской САПР проектирования, моделирования, а также синтеза RTL для конфигурирования ПЛИС

Никита Малышев, Алексей Ерёмин, Артем Варганов, Сергей Ярцев

Сегодня отечественный рынок ПЛИС может предложить аналоги западных микросхем и даже наметилась тенденция по созданию своих продуктов, касательно систем разработки – всё намного сложнее. Российским разработчикам ПЛИС приходится использовать либо системы проектирования западных вендоров, либо системы с открытым исходным кодом. Такая ситуация сохранялась довольно долго, пока компания ЭРЕМЕКС не выпустила программный пакет проектирования конфигурации ПЛИС Delta Design Simtera. В статье рассмотрим последние изменения за год, которые должны появиться в ближайшем релизе продукта.

Введение

На сегодняшний день разработка проектов для конфигурации ПЛИС (программируемых логических интегральных схем) является достаточно востребованной тематикой. За счёт скорости работы, возможности многократной реконфигурации и простоты разработки ПЛИС находят применение в различных сферах – в телекоммуникации, космонавтике, а также в других устройствах военного и гражданского применения.

Важнейшее значение при разработке интегральных схем занимает процесс высокоуровневого описания схемы на языках разработки аппаратуры (HDL), логическая верификация проекта и «кремниевая компиляция» (синтез). К сожалению, ввиду отставания отечественной микроэлектроники от западной наметился значительный разрыв и в области систем автоматизированного проектирования. В современных

реалиях довольно сложно спроектировать конфигурацию логической схемы, состоящей из десятков и сотен миллионов логических элементов в ручном режиме. А в приемлемо короткий промежуток времени – нереально.

Маршрут проектирования. Разработка высокоуровневого описания

Маршрут проектирования конфигурации программируемых логических интегральных схем всем знаком. Он представляет из себя итерационный процесс и его схему можно представить следующим образом – см. рис. 1. В статье разберём шаги высокоуровневого описания, логической верификации, синтеза схем, реализованных в Delta Design Simtera.

Начнём с первого этапа – разработки высокоуровневого описания. Вести разработку можно в схематехническом, а также в текстовом виде. При

работе с последним довольно важным является процесс взаимодействия системы и разработчика. Современный разработчик привык к интерактивным системам, дающим информацию по ошибкам, «узким местам» разрабатываемого кода, а также показывает их и даёт рекомендации. Тем самым процесс создания HDL-кода становится быстрее и, как правило, лишён грубых ошибок. В системе Delta Design Simtera реализовано несколько инструментов в помощь программистам ПЛИС – это визуальные и интерактивные инструменты. К визуальным можно отнести редактор настройки подсветки синтаксиса, отвечающий за настройку цвета, шрифта, размера и других параметров ключевых слов для HDL-языков, использующихся в проекте. Присутствует в системе и настройка цветовых схем редакторов. К интерактивным инструментам относятся автоподсказки, автодополнения кода, система распознавания лексических, синтаксических и смысловых (семантических) ошибок кода.

Технология умного ведения кода проекта предлагает варианты при написании кода, уменьшает время написания кода и возможность совершения синтаксических ошибок (рис. 2). В зависимости от контекста система предлагает варианты дальнейшего описания по стандартам на языки IEEE 1800-2005 (SystemVerilog), 1364-2005 (Verilog), IEEE 1076-2008 (VHDL) (рис. 3).

Моделирование и верификация HDL

Верификация и моделирование являются одними из этапов проектирования конфигурации ПЛИС. Моделирование осуществляется на основе скомпилированного HDL-проекта и только в том случае, если он не содержит ошибок. Моделирование происходит при нажатии на кнопку «Собрать проект и запустить симуляцию», показанную на рис. 4. В панель «Журналы» выводится информация об этапах и шагах моделирования, а также выводится отладочная информация разработчика ПЛИС (рис. 5).

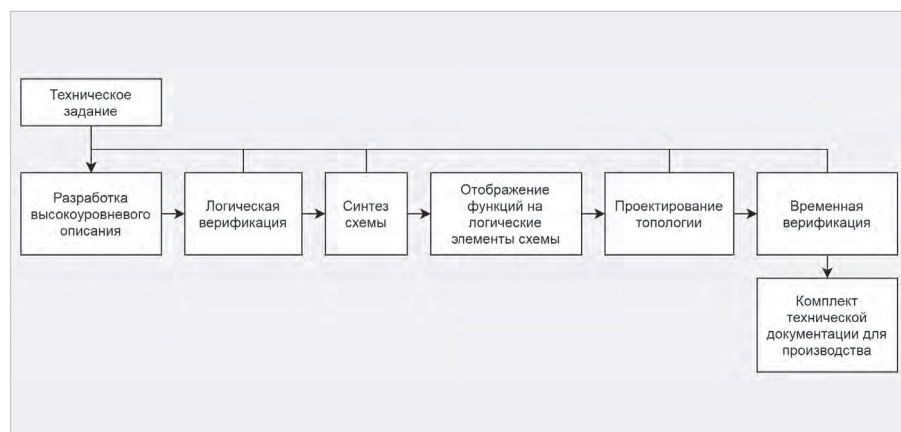


Рис. 1. Маршрут разработки проекта ПЛИС

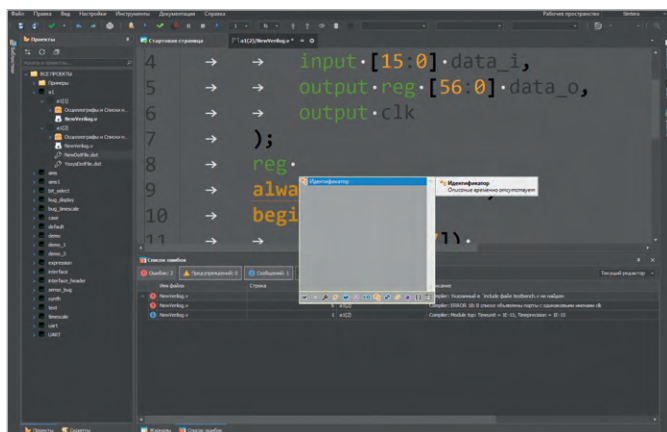


Рис. 2. Автодополнение Verilog-кода в зависимости от контекста

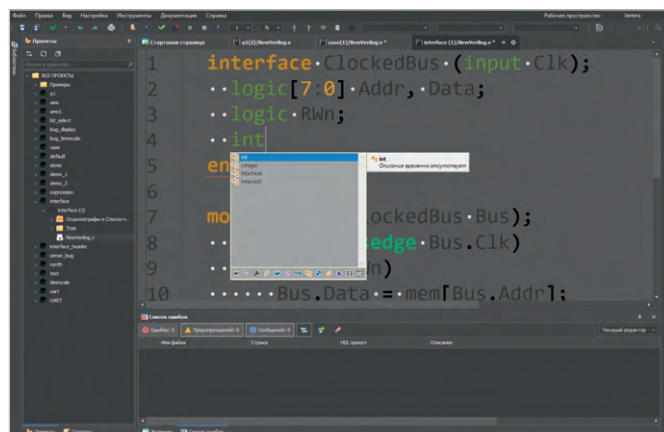


Рис. 3. Дополнение кода в зависимости от введенных символов

Отрисовка поведенческого моделирования во временной области доступна в осциллографе и в списке наблюдения. Данные могут быть отображены в цифровом и аналоговом видах. Во временной области доступна расстановка курсоров, в нижней части курсора отображается дельта времени между текущим и «нулевым» курсорами, а в верхней части – абсолютное значение времени (рис. 6).

Поведенческий синтез. Проверка на синтезируемость

HDL-язык, и язык Verilog в частности, используется для описания поведения схемы во времени и запуска соответствующего моделирования. Однако воплощение реализующей такое поведение цифровой аппаратуры (т.е. логических элементов и соединяющих их проводников) возможно не всегда. Логический синтез — перевод поведенческой модели в набор цифровых компонентов — может быть выполнен при использовании некоторого подмножества языка Verilog, который называется Synthesizable Verilog (синтезируемый).

Вполне корректный с точки зрения моделирования код может содержать несинтезируемые конструкции, и сообщение об этом должно быть выдано пользователю только при запуске модуля синтеза, а не при общей проверке кода на отсутствие синтаксических или семантических ошибок. При этом обнаружение несинтезируемых конструкций следует выполнять раньше, чем будет запущен трудоемкий процесс логического синтеза. Это выполняется путём добавления к проверке семантики дополнительных правил, следование которым проверяется сразу же при запуске синтеза, и в случае их нарушения выдаётся ошибка, а процесс синтеза не стартует.

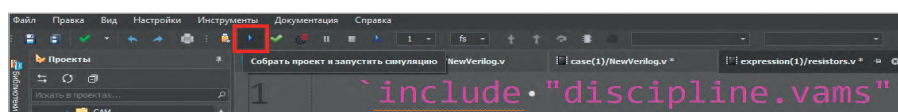


Рис. 4. Запуск моделирования HDL-проекта

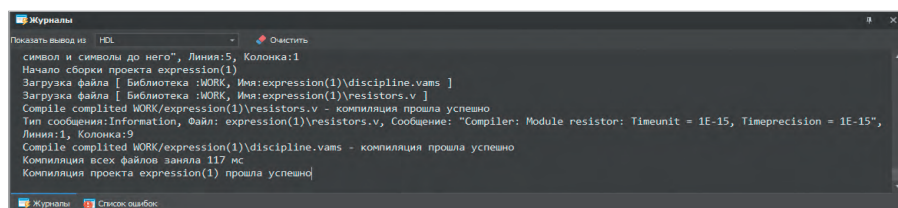


Рис. 5. Панель «Журналы» с отладочной информацией

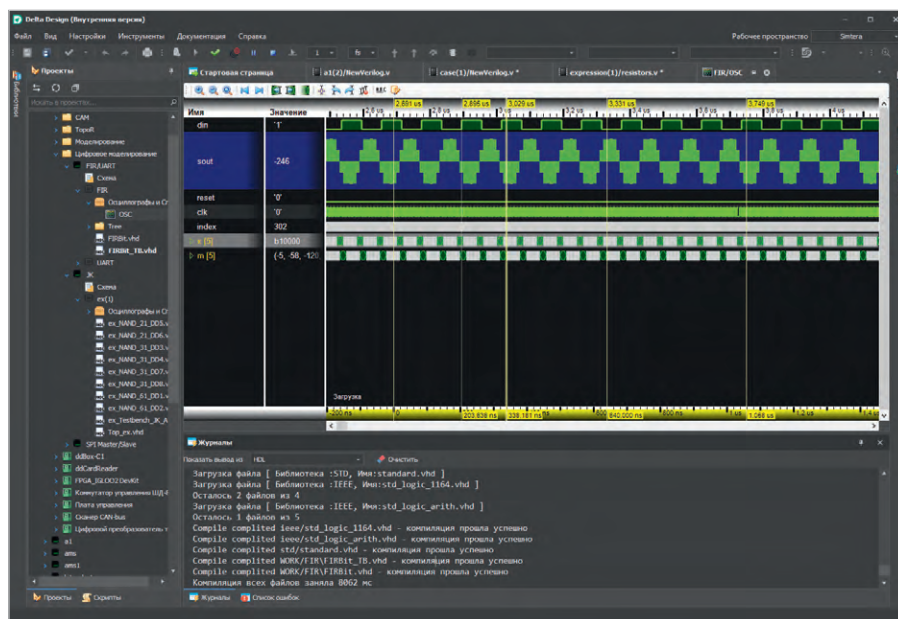


Рис. 6. Осциллограф Delta Design Simtera

В качестве примера работы системы на проверку синтеза рассмотрим Verilog-код, в котором используется несинтезируемая конструкция **event**. Verilog-код:

```
module dff(clk,r_data,q);
input clk;
input r_data;
output reg q;
event e_data;
```

```
always@(posedge(clk))
begin
    if(clk)->e_data;
end

always @(e_data)
    q = r_data;

endmodule
```

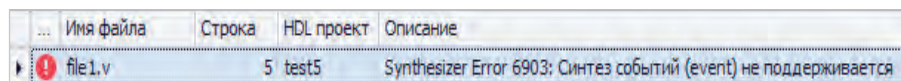


Рис. 7. Предупреждение системы проверки на синтезируемость

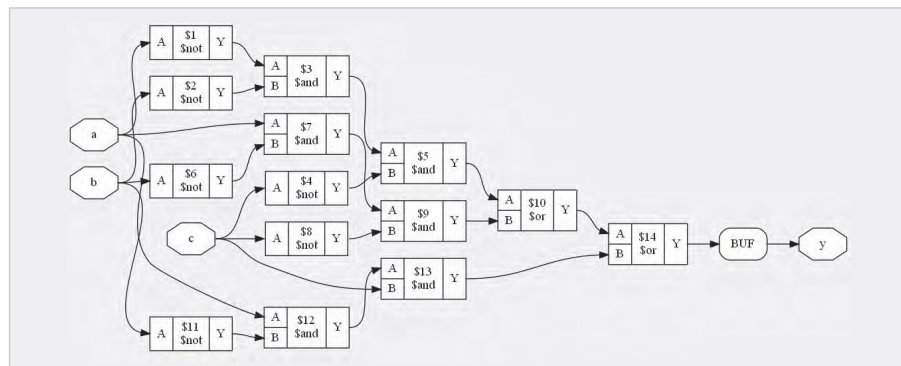


Рис. 8. Результаты поведенческого синтеза в Yosys

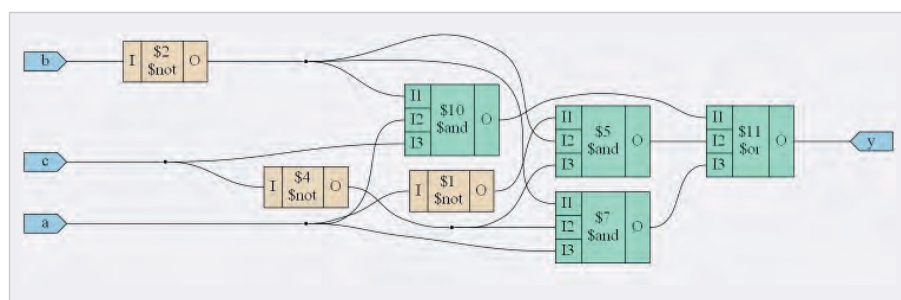


Рис. 9. Результаты поведенческого синтеза в Delta Design Simtera

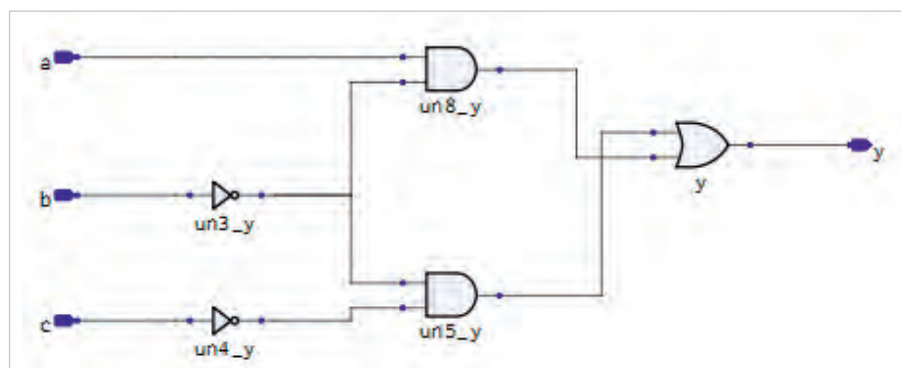


Рис. 10. Результаты поведенческого синтеза в Synopsys Synplify

В нём присутствует несинтезируемая конструкция *событие*.

В Delta Design Simtera компиляция проходит без ошибок, но при проверке синтезируемости кода также выдаётся ошибка – рис. 7.

Поведенческий синтез в Delta Design Simtera

Синтез RTL (Register transfer level) по коду Verilog реализован в наиболее простом варианте. В первом приближении для реализации синтеза в системе присутствует построение схем связей высокоуровневых элементов: переменных (портов, локальных переменных, чисел, параметров); бло-

ков выполнения унарных, бинарных и имеющих большее число аргументов операций; блоков осуществления комбинационной и синтезируемой последовательностной логики (защёлок, мультиплексоров, D-триггеров и их разновидностей, шифраторов/дешифраторов), а также, если переменная представляет собой массив, обеспечение работы с его частями. При этом оптимизация выполняется только над используемыми высокоуровневыми элементами, то есть, например, сумматор в текущем варианте представляет собой «чёрный ящик», и его внутренние элементы И/ИЛИ/НЕ не являются компонентами синтезиру-

ванной схемы и не участвуют в оптимизации.

Синтезатор Synplify, как наиболее известный по оптимизации ресурсов «кремниевый компилятор», осуществляет довольно глубокую оптимизацию уже на уровне создания принципиальной схемы. И, зачастую, даже в представлении схемы с высокоуровневыми компонентами проведена оптимизация. В ней явно видимые из кода компоненты заменены другими – обеспечивающими более оптимальное представление всей схемы на уровне И/ИЛИ/НЕ (соответственно и в RTL).

Delta Design Simtera по функциональным возможностям можно сравнить с инструментом синтеза с открытым исходным кодом Yosys. Ниже приведены сравнительные результаты работы поведенческого синтеза систем Delta Design Simtera, Yosys и Synopsys Synplify.

Примеры работы

Булева функция

Простые логические операции над булевыми переменными:

```
module top(input logic a, b, c,
output logic y);
assign y = (~a & ~b & ~c)
| (a & ~b & ~c)
| (a & ~b & c);
endmodule
```

Результат работы Yosys представляет собой все операции в графической форме. Можно увидеть, что все три блока 2, 6 и 11 представляют собой отрицание одной и той же переменной b, 4 и 8 — отрицание c, а 7 и 12 каждый соответствуют (a & ~b) (рис. 8). В Delta Design Simtera на настоящий момент реализована процедура повторного использования уже созданных блоков, что приводит лишь к однократному появлению отрицаний каждой из переменных. Кроме того, блоки И и ИЛИ на схеме изображаются от трёх операндов, как и записано в коде (рис. 9). Никакой минимизации здесь не проводится: лишь повторное использование уже созданных блоков. Для примера покажем работу Synplify, который путём минимизации записанной функции снизил число операторов до 5 (отрицание a, например, вовсе не понадобилось) (рис. 10).

Защёлки и мультиплексоры

Комбинационная логика, описываемая условными операторами, реализуется с помощью мультиплексоров (осу-

ществляющих выбор одного из двух входящих сигналов в зависимости от контрольного сигнала) и защёлки (пропускающих или нет входящий сигнал в зависимости от контрольного сигнала). В примере ниже сигнал *clk* отвечает за выбор сигнала *d0* или *d1*, передаваемого в биты [1:0] выходного порта *q*. Обратите внимание, что в части *else* присвоение происходит во все четыре бита *q*[3:0], а в части *if* — только в первые два *q*[1:0]. Вследствие этого для битов *q*[1:0] создаётся мультиплексор, который по значению *clk*==0 пропускает *d0*[1:0] (выбор двух нижних битов *d0* производится автоматически в соответствии с тем, что именно попадает в *q*[1:0] в части *else*), а по *clk*==1 — *d1*. Для битов *q*[1:0] создаётся защёлка, работающая при *clk*==0, то есть при $\sim\text{clk}$ ==1.

```
module latch_range2(input logic   clk,
                   input logic [3:0] d0,
                   input logic [1:0] d1,
                   output logic [3:0] q);
```

```
always_latch
```

```
  if (clk) q[1:0] <= d1;
  else q <= d0;
```

```
endmodule
```

Yosys выдаёт в качестве результата ссылку на некую процедуру, которую он не может представить в виде цифровых компонентов (рис. 11), на рис. 12 Simtera реализует описанную выше логику, такой же результат выдаёт Synplify – рис. 13.

Заключение

На текущий момент на российском рынке САПР Delta Design Simtera явля-

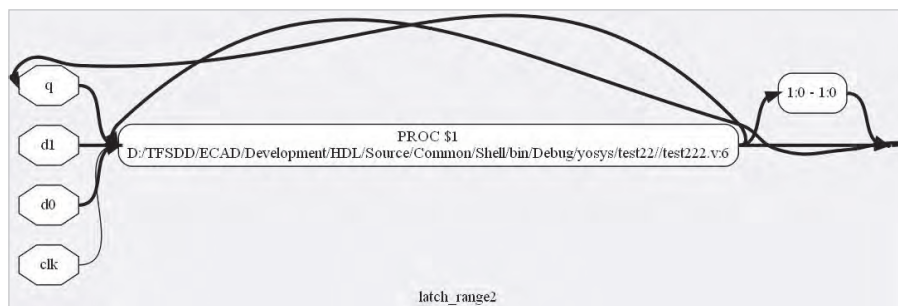


Рис. 11. Yosys. Поведенческий синтез

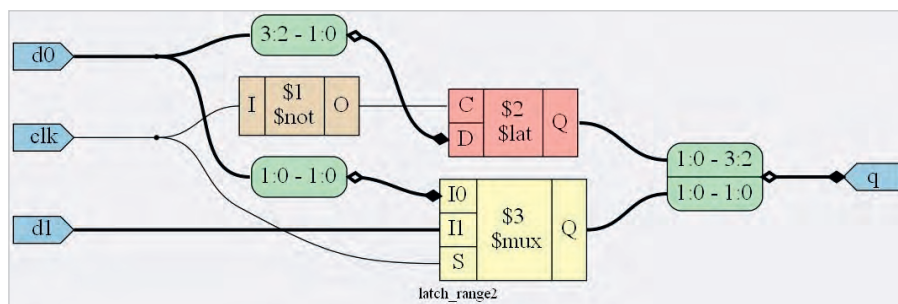


Рис. 12. Delta Design Simtera. Поведенческий синтез

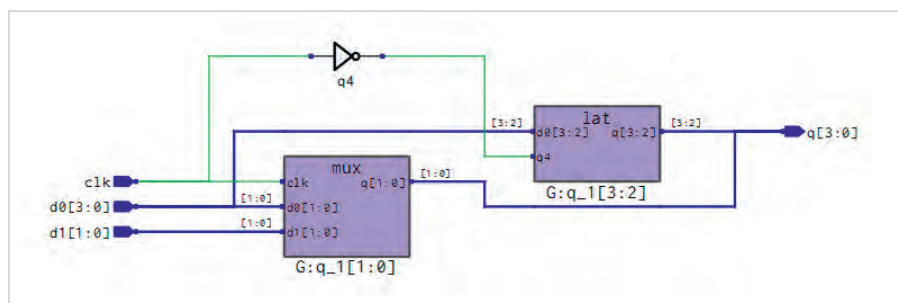


Рис. 13. Synopsys Synplify. Поведенческий синтез

ется хорошей альтернативой западным системам по проектированию конфигурации ПЛИС и может закрыть потребности разработчиков на таких этапах, как проектирование, симуляция и пове-

денческий синтез. При этом система постоянно модернизируется и дополняется новым функционалом, предоставляется техническая поддержка и обучение.



НОВОСТИ МИРА

Техпроцесс TSMC N4X ПРЕНАЗНАЧЕН ДЛЯ ВЫПУСКА МИКРОСХЕМ, ОТ КОТОРЫХ ТРЕБУЕТСЯ МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Компания TSMC представила техпроцесс N4X, оптимизированный по критерию производительности изготавливаемых микросхем. Это первый техпроцесс такого рода среди техпроцессов TSMC 5-нанометрового поколения. Изготовленные с его применением микросхемы рассчитаны на наибольшие тактовые частоты среди микросхем, изготавливаемых по техпроцессам этого поколения. Техпроцессы TSMC, оптимизированные по критерию производи-

тельности, можно узнать по букве «X» в обозначении.

Оптимизация затрагивает не только транзисторы, которые рассчитаны на повышенные токи и частоты, но и внутренний металлический стек. Кроме того, новый техпроцесс позволяет формировать конденсаторы сверхвысокой ёмкости со структурой «металл-изолятор-металл».

Как утверждается, всё это позволяет получить выигрыш по производительности до 15% по сравнению с N5 или до 4% по сравнению с N4P при напряжении питания 1,2 В. Дополнительный потенциал увеличения производительности обеспечен возможностью использования управляющих напряжений более 1,2 В. Заказчики могут ускорить раз-



работку микросхем для N4X, воспользовавшись тем, что для этого техпроцесса подходят общие правила проектирования для техпроцесса N5. В TSMC ожидают, что рискованное производство с применением N4X начнётся в первой половине 2023 года.

ixbt.com

Цифровые двойники в промышленности: истоки концепции, современный уровень развития и примеры внедрения

Денис Хитрых (АО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»)

В статье описывается концепция цифровых двойников в промышленности. Рассматривается их современный уровень развития и приводятся различные примеры успешного внедрения таких цифровых двойников.

В 2022 году грядёт новый этап развития цифровых технологий. Он обещает нам создание интерфейсов, обладающих эмоциональным интеллектом и когнитивными способностями. Это, несомненно, повлияет на бизнес, только пока неизвестно, как. Тренды меняются непредсказуемым образом. И зачастую самые захватывающие возможности лежат на пересечении нескольких трендов. Например, цифровые двойники представляют собой высшую степень развития вычислительных ресурсов, когнитивных моделей, встроенных датчиков и т.д. То есть цифровые двойники – это тренд развития технологий, в основе которого лежит сразу несколько самостоятельных передовых и всё ещё развивающихся технологий.

Концепция цифровых двойников

Впервые концепция «цифрового двойника» была отработана на «промышленном» уровне в начале 60-х годов прошлого века в рамках программы NASA (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства) «Аполлон», ког-

да были построены как минимум два идентичных космических корабля, что позволило инженерам во время полёта отражать эксплуатационные условия корабля, находившегося в космосе. Космический корабль, оставшийся на земле, назвали «двойником». В этом смысле каждый вид прототипа, который используется для воспроизведения реальных условий работы и для моделирования поведения в реальном времени, может рассматриваться как двойник.

Другим хорошо известным примером «аппаратного» двойника является наземная испытательная установка «Iron Bird» (рис. 1), разработанная компанией Airbus для оптимизации и проверки жизненно важных авиационных систем [1, 4]. Это механическая интеграция электрических и гидравлических систем, а также средств управления полётом, каждая из которых выстроена в соответствии с фактической конфигурацией самолета, и все компоненты установлены в том же месте, в каком они были бы на реальном объекте.

Испытательный стенд позволяет инженерам подтверждать характеристики всех компонентов системы, а

также обнаруживать любые несовместимости, которые могут потребовать изменений на ранних стадиях разработки. Кроме того, воздействия и последующее устранение неисправностей в системе могут быть подробно изучены и записаны для последующего анализа [1].

В связи с ростом мощности вычислительных средств, технологий моделирования и, следовательно, повышения точности моделей физических компонентов и процессов сегодня детали испытательного стенда заменяются виртуальными моделями. Это позволяет разработчикам систем использовать концепцию испытательного стенда на ранних этапах разработки, даже тогда, когда некоторые физические компоненты ещё недоступны. Дальнейшее распространение этой идеи на все фазы жизненного цикла приводит к созданию полной цифровой модели физической системы – цифрового двойника.

Концепция цифрового двойника впервые была введена в оборот в 2002 году Майклом Гривзом (M. Grieves) в рамках презентации Мичиганского университета для представителей промышленности [2]. Данная концепция в то время рассматривалась Гривзом как прототип «идеальной» PLM-системы для разработки инновационных продуктов в разрезе так называемого бережливого производства. Однако привычный ныне всем термин «цифровой двойник» появился только в 2010 году, и М. Гривз приписывает его авторство своему коллеге Джону Викарсу (John Vickers) из NASA. Он фигурировал в 11-й дорожной карте NASA в области технологий: моделирование, симуляция, информационные технологии и обработка [5]. В этом отчёте специалисты NASA обозначили будущее направление развития моделирования.

В 2002–2003 гг. идея цифрового двойника не получила широкой поддержки в первую очередь из-за технического несовершенства технологий того периода: отсутствовало необходимое аппаратное и программное обеспечение, а получение, обработка и хранение раз-

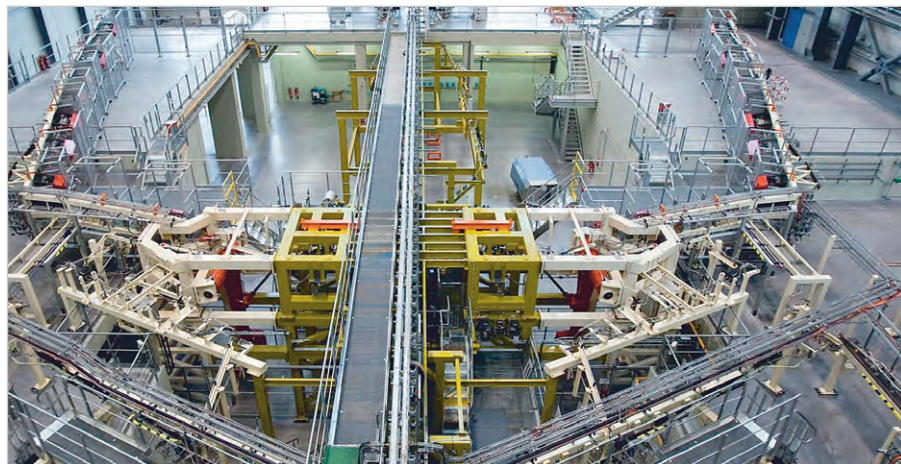


Рис. 1. Наземный авиационный испытательный стенд «Iron Bird» («Железная птица») [1]

личных данных о продукте в режиме реального времени были практически нереализуемы.

С появлением Интернета вещей (IoT), а позднее и промышленного Интернета вещей (IIoT), данная концепция эволюционировала. Сегодня под цифровым двойником мы понимаем виртуальную непрерывно адаптируемую модель технической системы или технологического процесса.

Для облегчения анализа, решения проблем и планирования мероприятий по усовершенствованию конструкции концепция цифрового двойника требует дополнительно включения в виртуальную модель системы финансовых и контекстных данных, а также данных с реальных датчиков, установленных на оборудовании.

Интегрируя виртуальные и физические данные, цифровой двойник позволяет осуществлять в реальном времени мониторинг систем и процессов, а также своевременно предотвращать проблемы, планировать превентивный ремонт с целью сокращения и предотвращения вынужденного простоя оборудования, и открывает новые возможности для бизнеса, например, переход на сервисную бизнес-модель.

С появлением Интернета вещей (IoT) внедрение цифровых двойников стало экономически выгодным, и технология стала получать всё большее признание в сообществе промышленного Интернета вещей (IIoT), делающем упор на сложное и капиталоемкое оборудование [16, 17].

В 2017 году эксперты Gartner прогнозировали, что к 2021 году почти половина крупных промышленных компаний в мире будут использовать технологию цифровых двойников с целью упрощения оценки производительности системы и технических рисков, достигая при этом повышения эффективности системы примерно на 10–12% [3]. Однако пандемия коронавируса внесла серьёзные коррективы в этот прогноз.

В настоящее время мы собираем и обрабатываем намного больше данных, чем это было возможно в начале 2000-х годов. Сейчас в автоматическом режиме, используя проводные сети и высокоскоростные сети 4G и 5G, мы способны получать информацию с датчиков, расположенных на промышленном оборудовании, и обрабатывать эту информацию в режиме реального времени. Этим и объясняется возрос-

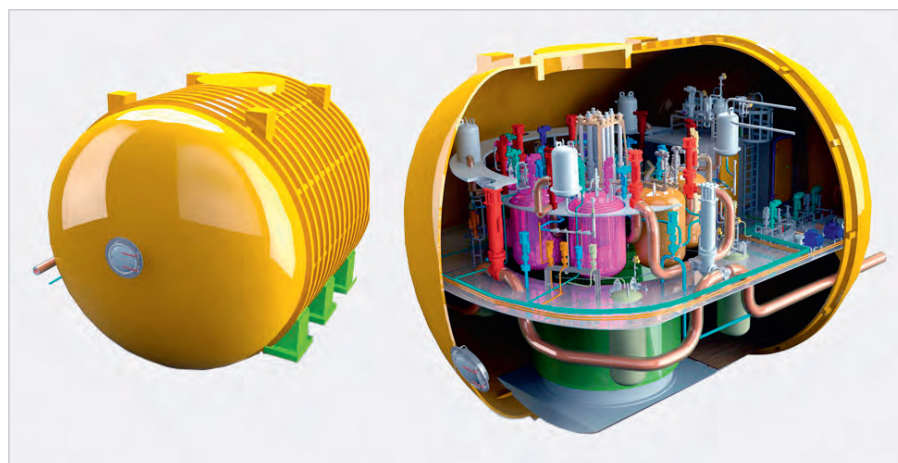


Рис. 2. Энергетическая капсула с унифицированной реакторной установкой «Шельф»

ший интерес к цифровым двойникам в последние несколько лет.

В своём развитии концепция цифрового двойника прошла несколько стадий. В самом начале это был традиционный виртуальный прототип, создаваемый в ходе предварительного проектирования. Он использовался для принятия решений на стадии эскизного проекта.

На следующем этапе развития цифровой двойник выполнял функцию виртуальной среды для моделирования поведения продукта. Симуляция поведения продукта осуществлялась с помощью технологий имитационного моделирования. Вся необходимая для работы модели информация о производительности, работоспособности и обслуживании реального физического объекта поступала в модель с датчиков, установленных на объекте, и дополнялась показаниями виртуальных датчиков.

Адаптивный цифровой двойник – это третья ступень эволюции концепции цифрового двойника. В нём используются алгоритмы машинного обучения на основе технологии нейронных сетей для планирования процессов в режиме реального времени и принятия решений в процессе эксплуатации и технического обслуживания объекта. Наконец, четвёртый уровень – это так называемый умный цифровой двойник. На этом уровне цифровой двойник обладает высокой степенью автономии. Он может анализировать более детальные данные о производительности, обслуживании и работоспособности оборудования и поддерживает обучение и распознавание состояний системы и окружающей среды с подкреплением сигналами от среды взаимодействия

в неопределённой, частично наблюдаемой среде.

На 3 и 4 уровнях ключевой технологией, используемой для построения цифрового двойника, является технология компьютерного инженерного анализа (CAE). Во многом именно интенсивное развитие технологий математического и имитационного моделирования и инструментов для сквозной интеграции CAD/CAE-систем с PDM/PLM и SCADA позволило перейти к практической реализации концепций адаптивного и умного цифрового двойника на промышленном уровне. И сегодня работы по внедрению цифровых двойников своей продукции активно ведут такие компании, как госкорпорация «Росатом», АО «Вертолёт России», АО «ОДК-Климов», ПАО «ОДК-Сатурн» и другие представители российской промышленности.

Примеры использования ЦД в разных отраслях

В феврале 2021 года в АО «ВНИИАЭС» (входит в «Росатом») стартовали практические работы по созданию первого в России и мире так называемого цифрового двойника АЭС малой мощности (АСММ) с реакторной установкой РИТМ-200Н и «Шельф-М» (рис. 2). Проект осуществляется при участии АО «ОКБМ Африкантов», АО «НИКИ-ЭТ», АО «Гринатом» и НИУ ВШЭ, бизнес-заказчиком является АО «Русатом Овервиз». Цифровой двойник АСММ будет включать в себя расчётные коды, моделирующие физические процессы в АСММ (теплогидравлические, нейтронно-физические, электротехнические) в различных режимах эксплуатации, средства моделирования, базы данных и сервисное программное обеспечение [6].

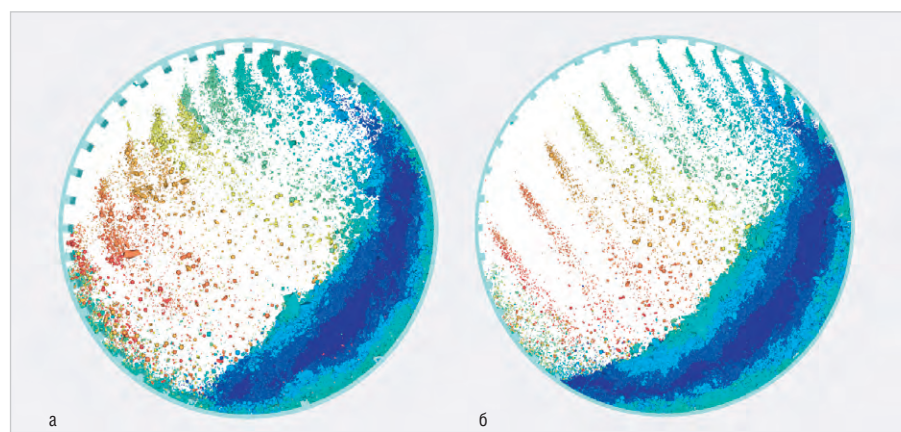


Рис. 3. Траектории движения материала в мельнице с профилем «Индустрия сервис» в новом состоянии (а) и в изношенном (б)

Таблица 1 Сравнение технологии цифровых двойников, построенных на основе законов физики и машинного обучения

	На основе законов физики (гибридный цифровой двойник)	На основе машинного обучения и глубокого анализа данных
Преимущества	Модели отражают глубокие знания, основанные на физике процессов. Новая информация получается за счёт построения причинно-следственных связей. Неопределённость контролируется входными данными и точностью моделирования. Модель имеет универсальное свойство – предсказывать события в любой точке, находящейся в рамках модели	Модель строится исключительно на основе данных – нет необходимости обладать знаниями в предметной области. Универсальная и гибкая модель – обрабатывает потоки неоднородных данных. С течением времени модель совершенствуется (обучение с подкреплением сигналами от среды взаимодействия). Хорошо подходит для обнаружения сложных взаимосвязей и паттернов
Недостатки	Требует обширных знаний в области физики. Большая вычислительная нагрузка; сложно осуществить в режиме реального времени. Предположения о характере входящих и исходящих данных должны быть сделаны заранее	Потребность в обучающих данных, необходимых для разработки модели. Корреляции, а не причинность. Чёрный ящик, без объяснений (в частности, технология глубокого обучения). Методы приближения, нет точной математики. Предиктивные возможности быстро ухудшаются за пределами области обучения. Трудно предсказать экстремальные/критические условия (мало наблюдений)

АО «НЦВ Миль и Камов» (входит в холдинг «Вертолёты России» госкорпорации «Ростех») в настоящее время проводит цифровую трансформацию производства для ускорения создания новых машин. Уже на первом этапе реализации программы «НЦВ Миль и Камов» сможет сократить сроки разработки конструкторской документации для новых вертолётов на 5–10%, а сроки технологической подготовки производства – до 20%. Цифровизация производства позволит усовершенствовать применение цифровых двойников для оптимизации конструкции, подготовки производства и эксплуатации вертолётов [7].

В 2019 году АО «ОДК-Климов» совместно с Центром НТИ СПбПУ завершили первый этап проекта по разработке цифрового двойника двигателя ТВ7-117СТ-01, представляющего из себя виртуальную модель двигателя, созданную по эталонным параметрам чертежей. Второй этап создания цифрового двойника должен завершиться

в 2022 году. В результате «ОДК-Климов» получит цифровой двойник, интегрированный в производственный контур. Он будет хранить и отражать детальную информацию о создании, существующих параметрах и эксплуатации каждого изготовленного двигателя. Результаты исследований будут внедряться на предприятии ММП им. В.В. Чернышева ОДК [8].

В 2018 году специалисты Трубной металлургической компании (ТМК) разработали первый в России цифровой двойник трубопрокатного агрегата, установленного на Северском трубном заводе. В его основу заложена комплексная математическая модель процесса прокатки труб, базирующаяся на авторском подходе в реализации энергетической теории обработки металлов давлением. Цифровой двойник с высокой точностью моделирует процессы производства труб на непрерывных раскатных, извлекающе-калибровочных и редуционных станах и позволяет в виртуальном

режиме проработать различные сценарии процесса прокатки, чтобы оптимально настроить оборудование для выпуска трубы с заданными характеристиками. По итогам текущего года ТМК получила около полумиллиарда рублей дополнительной прибыли от внедрения цифровых двойников прокатных станов на Волжском (ВТЗ) и Северском (СТЗ) трубных заводах. Экономический эффект был достигнут за счёт повышения качества трубной продукции, выпуска труб из новых марок стали и снижения издержек [15].

В сентябре 2021 года ПАО «ЛУКОЙЛ» запустило в эксплуатацию комплексную интегрированную цифровую модель Ватъеганского месторождения, которая является частью корпоративного проекта «Интеллектуальное месторождение». Беспрецедентный по масштабу и сложности проект включает в себя создание цифровых двойников более чем 3000 скважин и 12 объектов разработки и охватывает всю производственную цепочку добычи – от пласта до входа в центральный пункт сбора и подготовки нефти [12].

Компания «КАДФЕМ Си-Ай-Эс» планирует в начале 2022 года завершить проект по созданию так называемого гибридного цифрового двойника мельницы измельчения руды для одного из крупнейших производителей золота в России.

В основе общепринятой концепции цифровых двойников промышленного оборудования лежит компьютерный анализ данных, поступающих с датчиков, установленных на оборудовании, и последующее обучение нейронной сети на размеченных или неразмеченных данных, или обучение с подкреплением. Однако, как показывает практика, для решения таких важных задач цифрового двойника, как оценка текущего состояния оборудования и всей системы, в которой это оборудование эксплуатируется, определение оптимальных условий работы и прогнозирование остаточного ресурса данных, полученных от физических датчиков, часто бывает недостаточно. Концепция гибридного цифрового двойника предполагает, что кроме общепринятых физических датчиков применяются так называемые виртуальные датчики, которые предоставляют дополнительные данные об измеряемом параметре в любой точке оборудования на основе компьютерного инженерного анализа (CAE)

с использованием системной или имитационной модели.

Соответствующий цифровой двойник мельницы (рис. 3) измельчения использует технологии компьютерного инженерного анализа и системного моделирования для определения степени износа футеровки и прогнозирования износа футеровки во времени с учётом текущего состояния, планируемых режимов работы и загрузки [9, 10].

Моделирование и машинное обучение – дополняют или взаимозаменяют друг друга?

Поскольку гибридный цифровой двойник основан на законах физики и механики конструкций, можно оценить такие параметры, как уровень нагрузки или накопленное усталостное напряжение в конструкции, независимо от того, какие данные были получены от оборудования. Кроме того, такие параметры могут быть рассчитаны в любой точке конструкции.

Таким образом, будет справедливо сказать, что даже если цифровой двойник, в основе которого лежат законы физики, и двойник, функционирующий за счёт глубокой аналитики данных, являются в некоторой степени конкурирующими подходами, всё же они в значительной степени дополняют друг друга. Поэтому можно говорить о том, что будущее цифровых двойников лежит в точке пересечения этих двух подходов, объединяя сильные стороны каждого из них.

Гибридные цифровые двойники не только накапливают информацию о том, как условия эксплуатации влияют на работу оборудования, но способны прогнозировать реакцию системы на предполагаемые будущие сценарии. Благодаря этому мы можем лучше подготовиться к предстоящим критическим событиям, а также иметь возможность настраивать параметры АСУ ТП для оптимизации эксплуатационных характеристик. В табл. 1 представлены основные преимущества и недостатки этих двух подходов.

Интеллектуальный вибромониторинг и вибродиагностика как часть экосистемы «Цифровой двойник»

До сих пор мы рассматривали примеры цифровых двойников, которые описывают конкретный физический объект и содержат такие элементы, как: 3D CAD-модель, спецификации на материалы, записи о сервисном обслуживании,

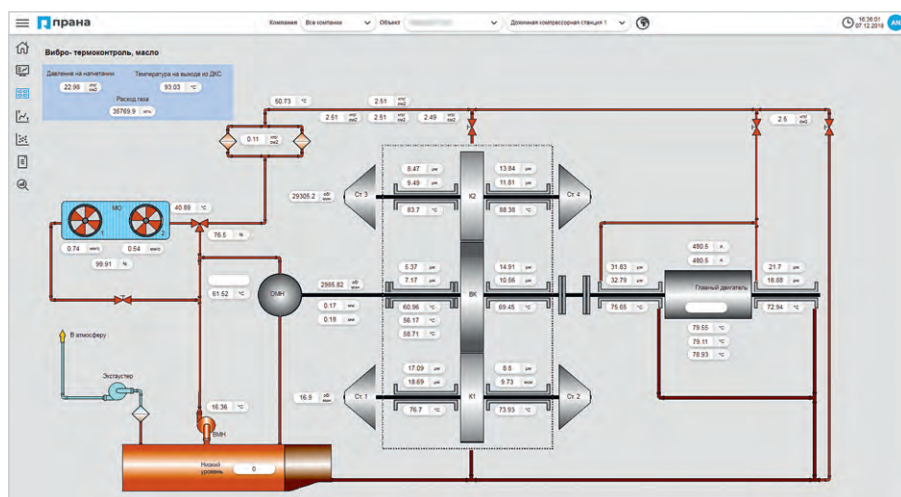


Рис. 4. Система ПРАНА: схема маслоснабжения и вибротермоконтроля газового дожимного компрессора

живании, операционные показатели и пр. Однако трактовка термина «цифровой двойник» постоянно расширяется и в разных отраслях приобретает свою специфику. И сегодня к экосистеме цифрового двойника можно отнести и современные системы вибромониторинга и вибродиагностики, которые в рамках концепции промышленного Интернета вещей (IIoT) поставляются клиентам в виде так называемых интеллектуальных сервисов и выступают в роли оперативных виртуальных ассистентов для сотрудников, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом производственного оборудования. Данные мониторинга технического состояния формируются на основе постоянных измерений с датчиков, установленных на оборудовании (датчики виброскорости, давления, температуры и др.). По этим данным выполняется анализ работы оборудования и его узлов. Результат анализа выступает сервисом, информируя сотрудников о фактическом состоянии оборудования и предлагая рекомендации по проведению обслуживающих или ремонтных работ. Применение таких интеллектуальных сервисов позволяет установить эффективный режим работы оборудования и технического персонала, например, минимизировать простой.

Системы такого типа делятся на два класса: первые предназначены для мониторинга технического состояния оборудования. Они позволяют обнаруживать происходящие изменения в системе и их тенденции/тренды, сравнивают показания с пороговыми значениями и предлагают графический анализ результатов измерений в режиме реального времени. Второй

класс систем контроля предназначен для диагностики технического состояния. Задачей диагностики является обнаружение дефектов оборудования и его узлов, а также прогнозирование обслуживания.

Среди отечественных решений для интеллектуальной вибродиагностики и удалённого мониторинга технического состояния оборудования стоит обратить внимание на системы прогностики ПРАНА и КОМПАКС.

Система прогностики ПРАНА вобрала в себя более чем 7-летний опыт компании РОТЕК в области производства и обслуживания основного энергетического оборудования и сегодня востребована в самых разных отраслях промышленности (рис. 4). Система находится в коммерческой эксплуатации с 2015 года как независимое от OEM «коробочное» решение для прогнозирования состояния промышленного оборудования, управления надёжностью и мониторинга.

Система мониторинга ПРАНА получает необходимые данные из АСУ ТП объекта мониторинга. Мониторинг осуществляется по многим параметрам: виброускорение, виброскорость, температура и др. Для выявления аномалий в данных измерений ПРАНА использует эмпирические модели эталонного технического состояния диагностируемого объекта. Формирование диагностических признаков технического состояния критически важных элементов оборудования позволяет выделить такие характеристики измеряемых сигналов, которые обладают требуемыми избирательными свойствами к заданному классу дефектов, подлежащих распознаванию. На основании машинно-

го обучения диагностической системы для каждого класса технических состояний формируются эталоны. С помощью передовых алгоритмов ПРАНА в реальном времени сравнивает состояние оборудования с эталонной моделью и определяет различия между ними. При обнаружении какой-либо аномалии система ПРАНА автоматически идентифицирует её в дефект с помощью модели нейронной сети, обученной на таблице дефектов [12].

КОМПАКС – это комплекс программно-аппаратных средств для автоматической вибродиагностики и непрерывного мониторинга состояния оборудования. Разрабатывается НПЦ «Динамика» (г. Омск) с 1992 года и включает в себя следующие средства [14]: переносная вибродиагностическая система Comracs-micro; комплекс стендовых систем для повышения качества динамического оборудования; диагностическая сеть Comracs-Net для передачи и визуализации информации о текущем техническом состоянии оборудования. Система вибродиагностики КОМПАКС обеспечивает в автоматическом режиме диагностику, мониторинг и прогноз технического состояния агрегатов (расчёт остаточного ресурса) с выдачей рекомендаций обслуживающему персоналу по неотложным действиям для предотвращения развития аварийных ситуаций, отказа и останова оборудования.

Будущее цифровых двойников

Цифровые двойники базируются на целом ряде технологий, которые постоянно эволюционируют. К таким технологиям относятся: методы сбора, передачи и обработки данных, математические модели физических процессов, а также высокопроизводительные вычислительные средства, используемые для проведения расчётов (моделирования) на основе этих моделей. Поэтому будущее цифровых двойников напрямую зависит от роста возможностей этих технологий.

Алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения, с которыми работают цифровые двойники, требуют огромных объёмов данных. Но зачастую на производстве данные с датчиков теряются, искажаются или собираются непоследовательно. Поэтому вопрос развития необходимой инфраструктуры и трансформации подхода к управлению данными является важным в контексте сокращения

времени окупаемости новых технологий в будущем.

Даже в тех случаях, когда цифровые двойники создаются для моделирования совершенно новых процессов, систем или устройств, не всегда возможно в нужных местах разместить все необходимые контрольно-измерительные приборы и датчики. В случае с химическими и биологическими реакциями или в экстремальных условиях (например, высокие температуры и давление) измерить характеристики непосредственно самого процесса может оказаться невозможно. В результате приходится получать данные опосредованно или опираться на те характеристики, которые можно измерить. Учитывая, что стоимость датчиков снижается и приобрести их уже не проблема, какое их число можно считать достаточным? Анализ издержек и потенциальной выгоды будет иметь критически важное значение в будущем. Так, современные авиационные двигатели можно оснастить тысячами и даже десятками тысяч датчиков, генерирующих терабайты данных каждую секунду. Однако в большинстве случаев при наличии детальной и точной системной модели, воспроизводящей работу электрических и гидравлических систем самолета, требуется лишь небольшое количество правильно расположенных датчиков для получения ключевых входных и выходных данных. Следовательно, в ближайшие годы будет продолжаться активное развитие средств математического и имитационного моделирования, а также рост доступных вычислительных ресурсов для моделирования в режиме реального времени. При этом качественный скачок быстродействия вычислительных систем возможен только при переходе на квантовые вычисления.

Также в ближайшие годы расширится область применения цифровых двойников. В логистике, производстве и цепочках поставок цифровые двойники в сочетании с технологией машинного обучения и расширенными возможностями сетевого подключения, такими как 5G, будут всё больше отслеживать, контролировать, направлять и оптимизировать потоки товаров по всему миру. Возможность в реальном времени отслеживать местоположение и условия, в которых содержится товар (температура, влажность и т.д.), будет считаться нормальной практикой.

Организации, переходящие от продажи продуктов к продаже продук-

тов вместе с услугами или в качестве услуг, первыми исследуют новые возможности использования цифровых двойников. Подключение цифрового двойника к встроенным датчикам и использование получаемых с помощью него данных для финансового анализа и прогнозирования открывают возможности для дополнительных продаж, получения более точных и оптимизированных прогнозов, а также оптимизации ценообразования. Например, так компании могут отследить повышенный износ оборудования и предложить дополнительные варианты гарантии или технического обслуживания. В таких отраслях, как сельское хозяйство, транспорт, аренда интеллектуальных коммерческих зданий, компании могут продавать как услугу объём производства / объём перевозки / моточасы и т.п. По мере роста возможностей и усложнения технологий всё больше компаний будут искать новые стратегии монетизации продуктов и услуг по образцу цифровых двойников.

В перспективе для полной реализации потенциала цифровых двойников может потребоваться интеграция систем и данных всех производственных экосистем. Создание цифровой модели полного жизненного цикла клиента или цепочки поставок, которая включала бы не только поставщиков первого уровня, но и их поставщиков, могло бы позволить компаниям видеть процессы на макроуровне. Однако вместе с тем такой подход потребует включения внешних субъектов в цифровые экосистемы внутренних процессов.

Долгое время развитию и промышленному применению технологии цифровых двойников мешало отсутствие соответствующих стандартов. Однако в сентябре 2021 года Россия первой в мире утвердила стандарты в области цифровых двойников. Соответствующий документ с названием «Численное моделирование» – ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» одобрен Росстандартом и вступит в силу 1 января 2022 года. Национальный стандарт в области цифровых двойников изделий будет распространяться только на изделия общего машиностроения, но при необходимости на его основе в дальнейшем могут быть разработаны стандарты, устанавливающие требования к цифровым двойникам изделий других отраслей промышленности [10].

Литература

1. Airbus Industries (2015) Innovation. [Электронный ресурс] // URL: www.airbus.com/innovation/proven-concepts/in-design/iron-bird/ (дата обращения: 19.10.2021).
2. Grieves M. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products Through Product Lifecycle Management, Cocoa Beach, FL, USA, Space Coast Press, 2011.
3. Pettey C. Prepare for the Impact of Digital Twins; Gartner: Stamford, CT, USA, 2017.
4. Shaflo M., Conroy M., Doyle R., Glaessgen E., Kemp C., LeMoigne J., Wang L. (2010) NASA technology roadmap: DRAFT modeling, simulation, information technology & processing roadmap technology area 11, Nov 2010.
5. Shaflo M., Conroy M., Doyle R., Glaessgen E., Kemp C., LeMoigne J., Wang L. (2012) NASA technology roadmap: modeling, simulation, information technology & processing roadmap technology area 11, Apr 2012.
6. Во ВНИИАЭС началась разработка цифровых двойников атомных станций малой мощности. [Электронный ресурс] // URL: https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalstam/news/37613/?sphrase_id=85873 (дата обращения: 19.10.2021).
7. НЦВ ускорит создание новых вертолетов благодаря цифровизации производства. [Электронный ресурс] // URL: https://rhc.aero/media/nhc_digitalization (дата обращения: 19.10.2021).
8. Ростех создаст цифровой двойник второго уровня авиадвигателя ТВ7-117. [Электронный ресурс] // URL: <https://news.rambler.ru/weapon/45079600-rosteh-sozdast-tsifrovoy-dvoynik-vtorogo-urovnya-aviadvigatelya-tv7-117/> (дата обращения: 19.10.2021).
9. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Исследование динамики износа мельницы полусамозмельчения путем математического моделирования // Теория и технология металлургического производства. 2017.
10. В России утвержден первый в мире стандарт в области цифровых двойников изделий. [Электронный ресурс] // URL: https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/presscenter/news/newsRST/redirect/news/1/7463?portal:isSecure=true&navigationalstate=JBPNs_r00ABXczAAZhY3Rpb24AAAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmldwACaWQAAAAABAAQ4MzM5AAdfX0VPRl9f&portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16 (дата обращения: 19.10.2021).
11. Золотарев О.В. Применение цифровых двойников в горнодобывающей промышленности: цифровой двойник мельницы измельчения // Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности. 2019.
12. ЛУКОЙЛ создал самую большую цифровую модель нефтяного месторождения в России. [Электронный ресурс] // URL: <https://lukoil.ru/PressCenter/Pressreleases/Pressrelease?rid=561008> (дата обращения: 19.10.2021).
13. Математический аппарат системы предиктивной аналитики ПРАНА. [Электронный ресурс] // URL: <https://prana-system.com/matematicheskij-apparat/> (дата обращения: 19.10.2021).
14. Система вибродиагностики динамического оборудования КОМПАКС. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.dynamics.ru/products/compacs-m/> (дата обращения: 19.10.2021).
15. ТМК получила прибыль в размере 500 млн рублей от внедрения цифровых двойников. [Электронный ресурс] // URL: <https://ru-bezh.ru/kompanii-iryinki/news/21/04/26/tmk-poluchila-pribyil-v-razmere-500-mln-rublej-ot-vnedreniya-czi> (дата обращения: 19.10.21).
16. Хитрых Д.П. Уровни сложности цифровых двойников. [Электронный ресурс] // URL: <https://cfd-blog.ru/digital-twin-difficulty-levels/> (дата обращения: 19.10.2021).
17. Хитрых Д.П. Цифровой двойник и имитационное моделирование. [Электронный ресурс] // URL: <https://cfd-blog.ru/digital-twin-and-simulation/> (дата обращения: 19.10.2021).



НОВОСТИ МИРА

Глава Intel прогнозирует дефицит чипов до 2023 года

Хотя производители полупроводников стремительно расширяют производство, спрос в условиях пандемии продолжает расти, и глобальный дефицит чипов сохранится до 2023 года.

Такое мнение на конференции в Малайзии высказал генеральный директор Intel Патрик Гелсингер (Patrick Gelsinger). Он побывал в стране с рабочим визитом после объявленных корпорацией планов по строительству в Малайзии нового полупроводникового завода, в который предполагается вложить 7,1 млрд долларов.

Завод будет расположен в малайзийском городе Баян Лепас в штате Пенанг, недалеко от международного аэропорта. Intel уже привлекает Малайзию к одному из заключительных этапов производства полупроводников – сборке ИС (IC packaging). В рамках инвестиционного плана, рассчитанного на 10 лет, компания намерена расширить мощности в стране. Ожидается, что это позволит создать более 4 тысяч новых рабочих мест.

Однако Гелсингер предупредил, что потребуется не менее трёх лет, прежде чем

усилия Intel и других участников полупроводниковой отрасли по увеличению производства принесут результаты. С учётом этого в Intel ожидают, что в ближайшее время поставки микросхем продолжат существенно отставать от спроса.

«В целом дефицит полупроводников весьма значителен, и до начала пандемии COVID-19 полупроводниковая промышленность росла примерно на 5% в год... Коронавирус нарушил работу цепочек поставок и привёл к негативной динамике. В то же время спрос резко подскочил на 20% по сравнению с прошлым годом, а разбалансированные цепочки поставок создали большой разрыв [между спросом и предложением] ... и этот взрывной спрос не ослабевает», – рассказал о ситуации в отрасли глава американского чипмейкера.

Гелсингер отметил, что инвестиции в Малайзии – это часть предпринимаемых Intel мер по дальнейшему наращиванию мощностей в США, Европе и Азии.

«Нужно просто время, чтобы построить все эти мощности в ответ на всплеск спроса», –

заявил топ-менеджер, напомнив, что ранее корпорация объявила о значительном расширении своих предприятий в американских штатах Аризона и Нью-Мексико.

Глава Intel пообещал, что в ближайшем будущем компания объявит об ещё одном крупном объекте в США, а также в Европе.

Ранее в октябре 2021 года агентство Reuters сообщало, что власти Италии ведут с Intel переговоры по поводу строительства в стране нового завода по выпуску чипов, в который планируется инвестировать в общей сложности 8 млрд евро. Предполагается, что на полупроводниковой фабрике будет создано более 1000 рабочих мест.

Кроме того, в планах Intel – проект по созданию в Европе предприятия по непосредственной обработке кремниевых пластин для сторонних клиентов. Площадкой для объекта может стать Германия или Франция.

Аналитики IC Insights прогнозируют в 2021 году рекордные капиталовложения в полупроводниковую отрасль – инвестиции вырастут на 34% и достигнут 152 млрд долларов.

russianelectronics.ru

Нижегородская радиолaborатория: история первого советского научно-исследовательского центра в области радиотехники

Владимир Бартенев (bartvg@rambler.ru)

В 2018 году научно-техническая общественность России отметила 100-летие Нижегородской радиолaborатории имени В.И. Ленина. 2 декабря 1918 года Владимир Ильич подписал «Положение о радиолaborатории с мастерской» [1]. Хотя ещё в августе 1918 года Нижегородская радиолaborатория (НРЛ) разместилась в трёхэтажном здании на Верхневолжской набережной Нижнего Новгорода, официально днём её рождения считается день подписания Лениным Положения. Мемориальные доски у входа в здание, где размещалась Нижегородская радиолaborатория, напоминают о создателе первых советских радиоламп М.А. Бонч-Бруевиче и изобретателе радио А.С. Попове. Ныне здесь на первом этаже размещается музей Нижегородской радиолaborатории (рис. 1). Как стало известно из письма директору НРЛ, над музеем Нижегородской радиолaborатории нависла угроза закрытия.

Я вспоминаю, как в год 100-летия НРЛ состоялась Международная конференция «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий», посвящённая Дню радио. На пленарном её заседании мною был сделан доклад о Нижегородской радиолaborатории имени В.И. Ленина. Приведу фрагменты этого доклада, чтобы подчеркнуть историческую значимость НРЛ и её вклад в развитие отечественной радиоэлектроники.

Суровый 1918 год – первый год советской власти. В России гражданская война и иностранная интервенция стран Антанты, не признавших правительство большевиков во главе с В.И. Лениным. В конце июня Добровольческая белая армия А.И. Деникина начинает наступление на Кубань и захватывает Екатеринодар. В июле-

августе белогвардейские войска атамана П.Н. Краснова развернули наступление на Воронеж и Царицын. В августе в Москве В.И. Ленин тяжело ранен двумя отравленными пулями стрелявшей в него Ф. Каплан после митинга на заводе Михельсона. Положение Советской власти к концу лета 1918 г. становится критическим. Под её контролем остаётся лишь 1/4 территории бывшей Российской империи. Советская республика в кольце фронтов. Ситуация усложняется ещё и тем, что закончилась Первая мировая война. Германия и её союзники потерпели полное поражение и капитулировали перед Антантой. Поражение Германии высвободило значительные воинские контингенты Антанты. В этих условиях руководство Антанты решает разгромить Советскую Россию силами собственных армий.

В ноябре-декабре 1918 г. англо-французские военные корабли высаживают десанты в Новороссийск, Севастополь, Одессу, Николаев, Херсон. В ноябре-декабре английские войска занимают Баку. Общая численность войск интервентов в России к концу 1918 г. превышает 300 тыс. человек.

Обстановка в нашей стране в 1918 году в докладе описывается неслучайно. Именно в 1918 году, в столь критической ситуации, В.И. Ленин отдаёт личное распоряжение по разработке и утверждению в Совете народных комиссаров нескольких важнейших декретов, являвшихся программой действий в области радио на длительный период. Необходимо отметить декрет от 21 июля 1918 г. «О централизации радиотехнического дела» и декрет от 2 декабря 1918 г. «О радиолaborатории Народного Комиссариата Почт и Телеграфов» [1]. Во втором декрете содержалось «Положение о радиолaborатории с мастерской», которое в короткое время усилиями небольшого коллектива инженеров самых различных специальностей, возрастов и квалификаций, поверивших в советскую власть и воодушевлённых призывом Ленина, в условиях блокады, гражданской войны и послевоенной разрухи воплотилось в жизнь в виде Нижегородской радиолaborатории (НРЛ) – первого в России научно-исследовательского учреждения, вскоре получившего мировое признание.

Какие же задачи были поставлены перед вновь создаваемой радиолaborаторией? Чтобы ответить на этот вопрос, познакомимся с Положением о радиолaborатории, где первым пунктом записано: «Радиолaborатория с мастерской Народного комиссариата почт и телеграфов является первым этапом в организации в России Государственного социалистического радиотехнического института, конечной целью которого является объединение в себе и вокруг себя в качестве организующего центра: а) всех научно-технических сил России, работающих в области радиотелеграфа; б) всех радиотехнических учебных

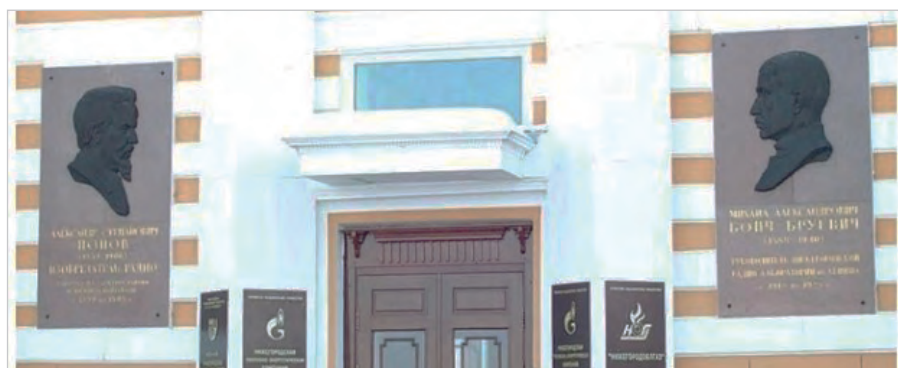


Рис. 1. Так выглядит вход в здание, где размещалась Нижегородская радиолaborатории имени В.И. Ленина, а теперь на первом этаже расположился музей НРЛ

заведений России; в) всей радиотехнической промышленности России». А в качестве конкретных ближайших заданий названы: а) организация производства катодных реле с абсолютной пустотой до 3000 штук в месяц; б) разработка типовой приёмной радиостанции для Народного Комиссариата Почт и Телеграфов; в) разработка радиотелеграфных передатчиков дальнего действия».

Задача по объединению учёных со всей России была решена успешно. Первоначальная группа организаторов НРЛ и ведущих сотрудников, в которую входили В.М. Лещинский, М.А. Бонч-Бруевич, П.А. Остряков, И.А. Леонтьев, С.И. Шапошников, Г.В. Путятин, И.В. Селиверстов, Л.Н. Салтыков, А.А. Бобков, Я.А. Бобков, А.И. Антохин, Н.Я. Марков и Л.И. Кабошин, быстро пополнялась новыми сотрудниками. Широкая программа новых исследований и научно-технических работ требовала привлечения крупнейших специалистов. Вскоре в коллектив лаборатории вступили А.Ф. Шорин, возглавивший разработку новых радиотелеграфных аппаратов, В.П. Вологдин со своими сотрудниками М.М. Вербицким, К.С. Шапошниковым и В.А. Жилинской, занявшиеся разработкой высокочастотных машинных генераторов (рис. 2). Затем к ним присоединился Н.С. Холин, организовавший химическую лабораторию, а позднее, в 1920 году, – выдающийся радиофизик Д.А. Рожанский. Также в 1920 году из Нижегородского университета в работах НРЛ активное участие приняли В.В. Татаринов и первый русский радиолюбитель Ф.А. Лбов, а также некоторые молодые радисты и студенты университета, в том числе А.М. Кутушев, В.М. Петров и П.И. Кондратьев. Огромное влияние на характер всей деятельности НРЛ оказал переезд в Нижний Новгород профессора В.К. Лебединского. По инициативе В.К. Лебединского при НРЛ был основан специальный радиотехнический журнал «Телеграфия и Телефония без проводов» (ТиТБП), а также популярный журнал «Радиотехник». В.К. Лебединский руководил также лабораторией, в которой работали О.В. Лосев – изобретатель знаменитого «кристаллина», и Д.Е. Маляров – изобретатель первого отечественного магнетрона. Но центральное место в НРЛ, несомненно, занимала лаборатория М.А. Бонч-Бруевича, в которой разрабатывались первые советские радиолампы. Эта

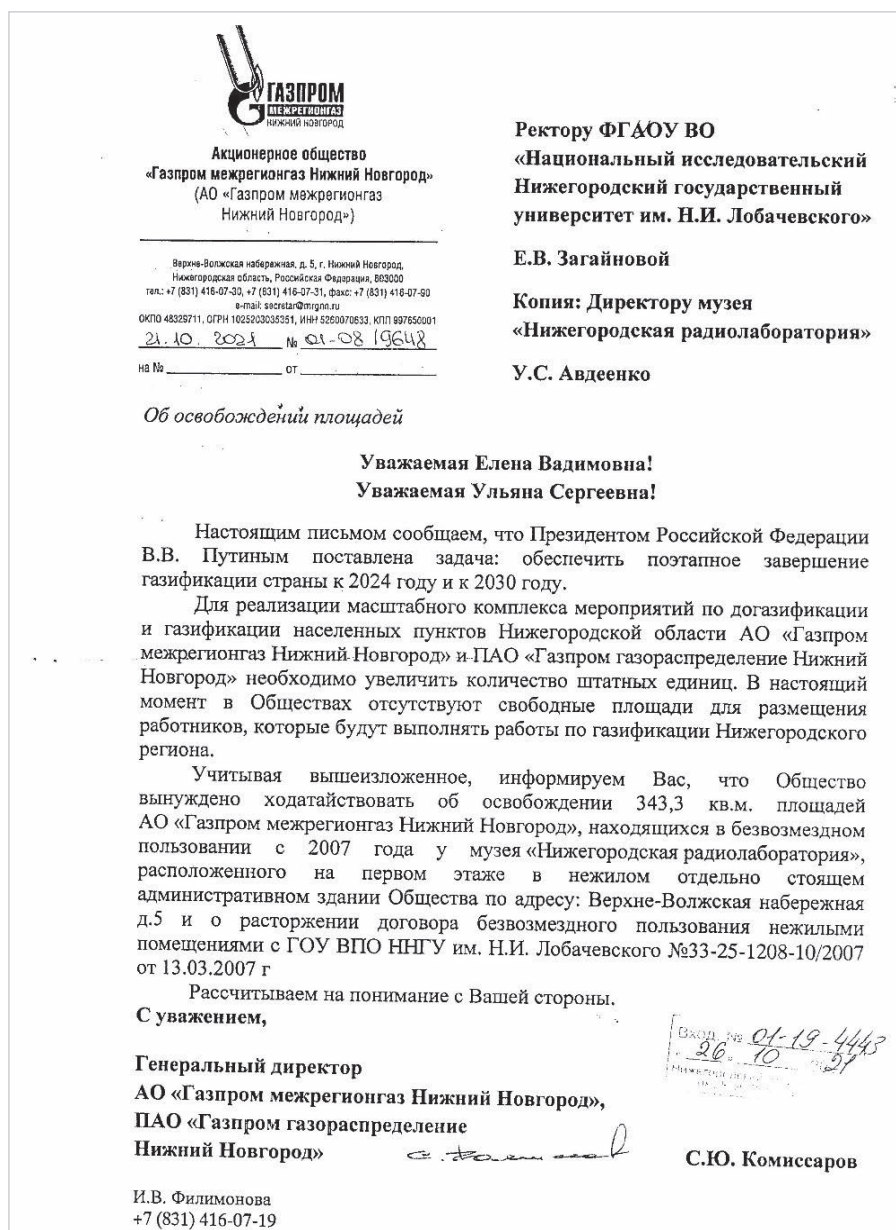


Рис. 2. Копия письма нижегородского Газпрома ректору ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского»

лаборатория также отвечала и за их массовое производство. Первым директором Нижегородской радиолaborатории был В.М. Лещинский, научными руководителями – М.А. Бонч-Бруевич, В.П. Вологдин и А.Ф. Шорин. Эти три руководителя и определяли три направления научно-технической деятельности радиолaborатории: Бонч-Бруевич – радиолампы, в том числе мощные генераторные, Вологдин – машинные генераторы высокой частоты и мощные ртутные выпрямители, Шорин – радиотелеграфные аппараты, телемеханика, звуковая аппаратура.

Обратимся к биографии Михаила Александровича Бонч-Бруевича, выдающегося ученого, основоположника отечественной электроники, создателя первых в мире мощных радиоламп [2].

Михаил Александрович родился в Орле. В 1906 году по окончании Киевского коммерческого училища Михаил Бонч-Бруевич был зачислен юнкером в Николаевское инженерное училище в Петербурге. Окончив его в звании подпоручика, был направлен на службу во вторую роту искрового телеграфа 5-го Сибирского сапёрного батальона в Иркутске. В 1912 году в звании поручика Михаил Александрович поступает в Офицерскую электротехническую школу в Петрограде. К началу Первой мировой войны, закончив школу с дипломом военного инженера, Бонч-Бруевич назначается помощником начальника правительственной радиостанции в Твери. С 1918 года он – научный руководитель Нижегородской радиолaborатории, а с 1928 года руко-



Рис. 3. Первоначальная группа организаторов и ведущих сотрудников НРЛ: В.М. Лещинский, М.А. Бонч-Бруевич, В.П. Вологдин и А.Ф. Шорин (слева направо)

водит Центральной радиолaborаторией Электротехнического треста заводов слабого тока в Ленинграде. С 1931 года Михаил Александрович возглавляет кафедру радиотехники в Ленинградском электротехническом институте связи. В это же время он избирается членом-корреспондентом Академии наук СССР. С 1935 года он – заместитель директора научно-исследовательского института (НИИ-9). В 1940 году Михаил Александрович внезапно умирает.

В этой краткой биографии Михаила Александровича следует выделить наиболее важный эпизод, который стал поворотным моментом, изменившим всю его последующую жизнь. Таким моментом, конечно же, была Великая Октябрьская революция. Именно отношением к ней Михаил Александрович предстаёт перед нами как истинный патриот России. В трудное время революционных событий 100-летней давности он не покинул Родину, а принял решение отдать все свои силы служению молодому советскому государству, остро нуждавшемуся тогда в отечественных радиолампах. А покинуть Россию у поручика Бонч-Бруевича была возможность. Во время Первой мировой войны в 1916 году, уже будучи помощником начальника Тверской радиостанции, Бонч-Бруевич совершил поездку во Францию для изучения технологии производства французских радиоламп, лучших в то время в мире. Добираться ему до Парижа пришлось через Финляндию, Швецию, Норвегию и Англию. Бонч-Бруевич благополучно вернулся в Тверь, и зарубежная командировка оказалась ему весьма полезной, так как уже в том же 1916 году им была создана первая в Твери радиолампа.

Дореволюционный период научной деятельности Бонч-Бруевича во многом напоминал печальную судьбу многих изобретателей того времени. Так было, например, с А.С. Поповым, который был вынужден для Российского военного флота свои изобре-

нения воплощать в жизнь во Франции на фирме Дюкрете. Ситуация с изготовлением ламп у поручика Бонч-Бруевича была ещё хуже. Не получив ни копейки от военного ведомства, он был вынужден оплачивать затраты на изготовление первых радиоламп из своего жалования. К осени 1917 года на Тверской радиостанции закончилось топливо для двигателя по откачке газа из радиоламп. Бонч-Бруевич был вынужден поехать в Петроград с рапортом для Главного военно-технического управления (ГВТУ), которое возглавлял полковник Муромцев, чтобы выделили горючее для радиостанции. Однако Муромцева там не оказалось. Посоветовали поспешить на вокзал, где Муромцев собирался отправиться на дальневосточном экспрессе в Соединённые Штаты через Дальний Восток. Бонч-Бруевич успел прибыть на вокзал до отхода поезда. У международного вагона он увидел Муромцева и Зворыкина в окружении родных и близких. Когда объявили посадку, Муромцев стал усаживать в вагон жену и дочерей. За ним последовал с семьёй и Зворыкин. Глядя на всё это, Бонч-Бруевич понял, что это было паническое бегство из России и Муромцева, и всех остальных пассажиров этого поезда. В отчаянии Михаил Александрович порвал рапорт на топливо. Его охватили грустные мысли. Чем закончится война? Что станет с Россией, с русской армией, с его любимым делом? Прошёл год, и безнадёжное состояние сменилось у Бонч-Бруевича надеждой на перспективы в его работе после встречи с народным комиссаром почт и телеграфов Вадимом Николаевичем Подбельским в июле 1918 года. Слова Подбельского «Нам нужны свои радиолампы, а не французские» вдохновили Михаила Александровича. За этими словами последовали и конкретные дела.

Первой советской радиолампой, созданной в Нижегородской радиолaborатории, была ПР-1[3] (пустотное

реле-1). Первая партия этих приёмно-усилительных ламп была выпущена уже через год после открытия радиолaborатории. Затем налаживается их серийный выпуск. Но Бонч-Бруевич стремится создать мощные радиолампы для радиотелефонных передатчиков, и 15 января 1920 года в радиолaborатории производится первая радиотелефонная передача из Нижнего Новгорода с помощью передатчика мощностью в 30 Вт. А уже 17 марта 1920 г. В.И. Ленин подписывает постановление Совета Труда и Обороны, в котором ставится ещё более сложная задача: «1. Поручить Нижегородской радиолaborатории изготовить в срочном порядке не позднее двух с половиной месяцев Центральную радио-телефонную станцию с радиусом действия 2000 верст. 2. Местом установки назначить Москву и к подготовительным работам приступить немедленно». Конечно, для решения поставленной задачи можно было поступить, как фирма Маркони, применившая в своём передатчике более 100 радиоламп. Но Бонч-Бруевич пошёл другим путем. Он создаёт радиолампу, которой ещё не было в мире. Для рассеивания большой мощности анод такой лампы делается четырёхкамерным и охлаждается проточной водой. Так родилась радиолампа с небывалой по тем временам мощностью 1,5 кВт. В конце 1920 г. на Ходынской радиостанции начал работать передатчик с несколькими такими лампами с водяным охлаждением общей мощностью около 5 кВт. А в 1922 году построена радиотелефонная станция в Москве мощностью уже 12 кВт. Эксплуатация радиостанции началась 21 августа 1922 г., длина волны – 3000 метров. 17 сентября этой радиостанцией был передан первый радиоконцерт с участием артистов Большого театра [4]. 19 сентября 1922 года после пуска Московской радиотелефонной станции Нижегородская радиолaborатория была награждена орденом Трудового Красного Знамени. В 1924 году Нижегородской радиолaborатории было присвоено имя В.И. Ленина.

К 1924 году Нижегородская лаборатория – это уже крупный научно-технический центр. Её территория значительно расширилась, число сотрудников существенно возросло. В 1923 году М.А. Бонч-Бруевич создаёт радиолампу мощностью 25 кВт. А в 1924 году в Нижегородской радиолaborатории разрабатывается радиолампа мощно-

стью 100 кВт. Но Бонч-Бруевич, хотя уже и вынашивает мысль о создании радиостанции с 1000 кВт, понимает, что создание одной радиостанции даже большой мощности не сможет обеспечить уверенный радиоприём на всей большой территории СССР. Поэтому в Нижегородской радиолaborатории создаётся радиопередатчик для местного приёма. Такой передатчик имеет мощность 1,2 кВт. Схема модуляции анодная, длина волны 700...1400 метров. Компактность этого передатчика и его дешевизна обеспечили получение большого заказа на изготовление 27 передатчиков Нижегородской радиолaborаторией для многих городов Советского Союза. Эти передатчики сыграли большую роль в развитии отечественного радиовещания.

Особое место в исследованиях Нижегородской радиолaborатории в 1925 году занимает исследование дальнего распространения коротких волн. Для этого были разработаны две радиолампы мощностью 25 кВт специальной конструкции для коротковолнового передатчика на диапазон волн 50...100 метров. Телеграфный передатчик был двухкаскадный с задающим генератором на двух лампах по 500 Вт и с усилителем мощности на одной лампе в 25 кВт. Работа по испытанию передатчика велась М.А. Бонч-Бруевичем и В.В. Татариновым в Москве на волне 83 метра. В марте 1925 года в

течение недели в ночное время передавался позывной этой радиостанции. Через некоторое время стали поступать сообщения о приёме радиосигналов из Москвы со всех концов света. Например, из США сообщалось, что радиосигналы из Москвы заглушали даже местные радиостанции. Все эти эксперименты с короткими волнами привели к тому, что в 1926 году была установлена первая в СССР коротковолновая магистральная линия связи Москва – Ташкент. 16 января 1928 года Нижегородская радиолaborатория за большие заслуги в радиостроительстве была награждена вторым орденом Трудового Красного Знамени. В конце 1928 года, после десятилетнего существования, Нижегородская радиолaborатория вошла в состав Ленинградской Центральной радиолaborатории Государственного электротехнического треста заводов слабого тока. В накопленном ценном опыте сотрудников Нижегородской радиолaborатории стала остро нуждаться зарождающаяся новая отечественная радиотехническая промышленность [5].

Рассказывая об истории развития отечественной радиоэлектроники в НРЛ, возникает естественное желание задать вопрос чиновникам из нижегородского Газпрома, почему они с таким невежеством готовы уничтожить нашу историческую память, подвергнув захвату помещение музея НРЛ. Это следует из письма, подписанно-

го Генеральным директором АО «Газпром межрегионгаз Нижний Новгород» С.Ю. Комиссаровым (рис. 3).

Обращаюсь прежде всего к получателю этого письма, уважаемой Загайновой Елене Вадимовне, ректору ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»: прошу Вас предотвратить захват помещения музея НРЛ Газпромом и при этом учесть, что неслучайно Газпрому Федеральная антимонопольная служба РФ запретила называться «национальным достоянием». Национальное достояние – это наша история, исторические личности, их свершения и, конечно, музей Нижегородской радиолaborатории, который необходимо сохранить для наших потомков.

Литература

1. А.М. Николаев. Ленин и радио. М.: Партиздат, 1934.
2. П.А. Остряков. Михаил Александрович Бонч-Бруевич. М.: Связьиздат, 1953.
3. М.А. Бонч-Бруевич. Усилительная лампа Нижегородской Лаборатории (тип ПР1) // НРЛ, ТиТбп. 1919. № 6.
4. В.Г. Бартнев. Наше радиовещательное наследие // Современная электроника. 2014. № 1.
5. В.Г. Бартнев. В.К. Лебединский, М.А. Бонч-Бруевич, О.В. Лосев. Их объединяли научная школа, историческая преемственность и патриотизм // Современная электроника. 2018. № 2.



НОВОСТИ МИРА

Россияне теперь главные по микроархитектуре RISC-V

Россия в лице Syntacore (входит в группу Yadro) впервые вошла в состав правления глобального консорциума RISC-V International. Организация занимается развитием и продвижением открытой процессорной архитектуры RISC-V. Помимо отечественной компании, в совет директоров ассоциации входят представители Google, Alibaba Group и Huawei. Члены правления определяют технические инициативы и долгосрочную стратегию ассоциации.

Предприниматель Александр Редькин, гендиректор и основатель отечественной компании Syntacore (входит в группу компаний Yadro), стал первым россиянином, вошедшим в совет директоров глобального консорциума RISC-V International.

Эта базирующаяся в Швейцарии некоммерческая организация объединяет около 2,5 тыс. компаний для развития и продвижения RISC-V. Под RISC-V подразумевается от-

крытый и свободный стандарт процессорной архитектуры (ISA, Instruction Set Architecture), созданный на основе концепции RISC (для чипов с сокращённым набором команд) для микропроцессоров и микроконтроллеров.

Syntacore является членом-основателем RISC-V International. Российская компания разрабатывает микропроцессорные ядра, которые микросистемные дизайн-центры могут использовать (например, по лицензии) при создании процессоров. В начале 2016 г. компания одной из первых опробовала коммерческую систему на кристалле (SoC) на основе RISC-V SCR3. «Работа, проделанная Syntacore на протяжении многих лет по ускорению и совершенствованию своих процессоров, наряду со спецификацией RISC-V, позволила нашей экосистеме расшириться во всём мире, – отметила Калиста Редмонд (Calista Redmond), генеральный директор RISC-V International. – Повышение статуса компании до уровня Premier ещё больше укрепля-

ет Syntacore в мире RISC-V, и я рада видеть новые разработки и проекты, которые скоро появятся на рынке благодаря этой команде».

В марте 2020 г. в Швейцарии была зарегистрирована международная ассоциация RISC-V International. Члены RISC-V участвуют в разработке спецификации и расширений RISC-V, а также соответствующего аппаратного и программного обеспечения. Ассоциация управляется советом директоров, который состоит из 20 представителей-членов, а также техническим комитетом руководителей рабочих групп. Они стоят во главе технических инициатив ассоциации, а также определяют её долгосрочную стратегию.

В 2021 г. представители только трёх компаний наряду с Syntacore дополнили совет директоров ассоциации (в декабре – разработчик высокопроизводительных процессоров RISC-V для центров обработки данных Ventana Micro Systems и в апреле – инвестор Chengwei Capital).

russianelectronics.ru

«Росатом» восходит на «Эльбрус»

По данным «Ъ», госкорпорация «Росатом» хочет приобрести контрольный пакет акций отечественного разработчика процессоров «Эльбрус» АО МЦСТ. Решение о сделке может быть принято на ближайшем заседании совета директоров «Росатома» в этом году. Весь актив оценён в 5–7 млрд руб. Участники рынка полагают, что «Росатом» действует по поручению правительства. Смена основного владельца МЦСТ, на их взгляд, необходима, чтобы сменить стратегию компании, сосредоточенную сейчас в первую очередь на госсекторе, и обеспечить её инвестициями.



Источники «Ъ» на российском рынке микроэлектроники рассказали, что «Росатом» обсуждает получение контроля в АО МЦСТ (разрабатывает процессоры «Эльбрус»), вся компания оценивается на уровне 5–7 млрд руб.

Госкорпорация уже провела due diligence и «готовится к началу сделки», утверждают собеседники «Ъ» и подтверждает источник в правительстве. По его словам, решение о покупке будет принято на ближайшем заседании совета директоров «Росатома», которое пройдёт до конца года.

Сделку, по словам собеседников «Ъ», инициировало правительство, где недовольные показателями работы МЦСТ.

Гендиректор МЦСТ Александр Ким заверил «Ъ», что «информация о возможной покупке компании кем-либо всего лишь слухи». Его заместитель Константин Трушкин заявил «Ъ», что «ничего об этом не знает», и отказался уточнить состав акционеров компании. В «Росатоме» отказались от комментариев.

По данным «СПАРК-Интерфакс», АО МЦСТ учреждено в 1992 году, уставный капитал компании составляет 3 млн руб. 99,88% акций АО у «граждан РФ», еще 0,08% – у Института точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН (ОАО ИТМИВТ), 0,04 – у ОАО «НИИ

супер-ЭВМ». В базе данных опубликован только один документ, в котором упомянуты имена возможных акционеров, – отчёт об итогах выпуска ценных бумаг за 1999 год. Из него следует, что изначально 25% акций МЦСТ было у ИТМИВТ, 12% – у ОАО «НИИ супер-ЭВМ». Остальные акции распределились между инженерами предприятия: по 13% у Бориса Бабаяна, Александра Кима, Арнольда Плоткина и Сергея Семенихина. Ещё 11% было у Станислава Рачинского.

По словам ряда собеседников «Ъ», за последние несколько лет контрольный пакет акций (якобы около 70%) оказался сосредоточен в руках Александра Кима. Миноритарными владельцами, говорит один из источников, выступают топ-менеджеры предприятия. Собеседник «Ъ» в правительстве уточняет, что «вопрос, кто всё же владеет МЦСТ, на совещаниях стараются не поднимать». Господин Ким в беседе с «Ъ» лишь подтвердил, что выступает бенефициаром компании, не раскрыв долю и имена партнёров. По итогам 2018 года чистая прибыль МЦСТ составила 40 млн руб. при вырубке 2 млрд руб.

МЦСТ занимается в основном поставками в госсектор, но в последние годы объём контрактов сокращался. Так, если в 2017 году компания завершила шесть контрактов на 2,6 млрд руб., то в 2019 году – только один на 1,3 млрд руб., следует из базы «СПАРК-Интерфакс». В декабре стало известно, что МЦСТ выиграл тендер на разработку процессора «Эльбрус 32С», получив от Минпромторга 7,14 млрд руб. Это была вторая попытка властей профинансировать МЦСТ: в декабре 2020 года компания выиграла аналогичный тендер, но его результаты были отменены.

Сделка с «Росатомом» – фактически спасение МЦСТ и с финансовой, и с управленческой точки зрения, считает топ-менеджер крупного производителя электроники: «Если в прошлые годы компания жила за счёт государственных тендеров на опытно-конструкторские работы, то в последние годы их стало меньше, и, похоже, МЦСТ нужно изменить стратегию».

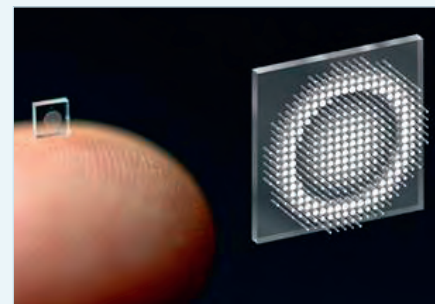
Возможно, поглощение актива происходит по поручению правительства, полагает один из участников рынка. По его информации, аналогичное распоряжение дано «Росатому» в отношении активов «Крокус-Нано» (производит резистивную память ReRAM; сейчас, по данным «СПАРК Интерфакс», на 99% у «Роснано»). Это укладывается в общую стратегию государства: завести все крупнейшие технологические активы

под управление госкорпораций, отмечает собеседник «Ъ». «С одной стороны, это обеспечит им дополнительный финансовый поток и поможет встроиться в цепочки поставок, а с другой – изменит курс развития, может, даже ускорит его». По его мнению, вслед за МЦСТ и ReRAM последуют и другие предприятия рынка микроэлектроники.

kommersant.ru

Технология метаповерхности позволила создать камеру размером с песчинку

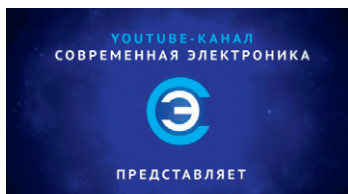
Группа инженеров из Университета Вашингтона разработала новое поколение метаповерхностей, что позволило создать камеру революционно малого размера. Это квадрат со стороной всего 0,5 мм, как песчинка, однако она выдает изображение такого же качества, как обычные видеокамеры в 500 000 раз крупнее её. Профессиональные фотографии с этим не согласны, у новинки изрядное количество огрехов, но в данном случае это вторично.



Главное отличие такой камеры от обычных в том, что здесь нет системы линз, и вообще каких-либо подвижных механизмов. Их заменяет массив из 1,6 млн «нанопостов» – конструкций специфической формы, которые преобразуют свет по заданному алгоритму. Сама технология появилась ещё несколько лет назад, но в новой версии структура нанопостов была кардинально преобразована при помощи методов машинного обучения и деконволюции на основе нейронных функций.

Помимо малых размеров, такие камеры хороши тем, что их можно встроить прямо в конструкцию какого-либо устройства как его часть, а не отдельный модуль. Например, превратить в одну большую камеру всю заднюю панель смартфона, чтобы он мог снимать видео любой её частью. Или оснастить поискового робота таким количеством камер, чтобы он продолжал передавать картинку из опасной зоны даже при получении повреждений и частичной поломке.

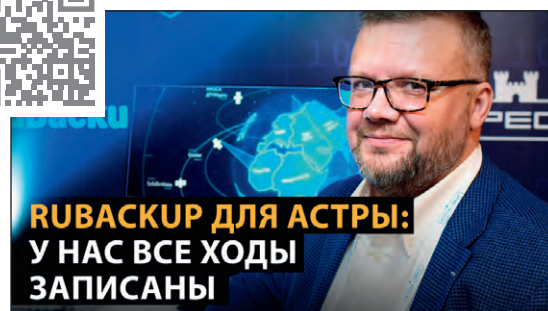
techcult.ru



Смотрите на канале **СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**



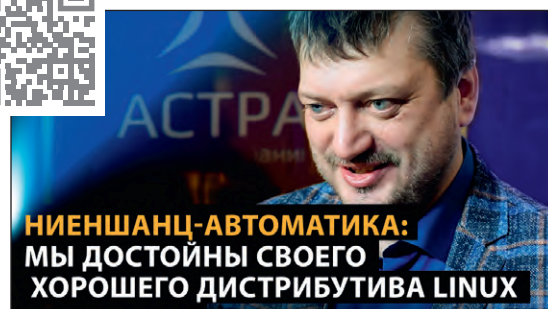
Интервью с презентации новых приборов с уникальными характеристиками



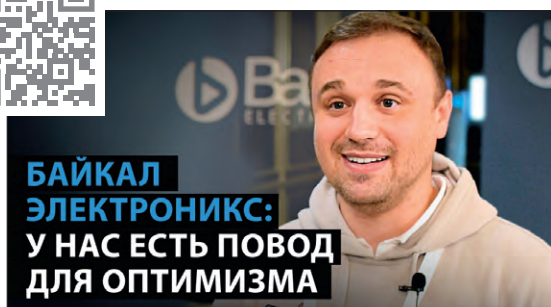
Отечественное ПО вытесняет импорт



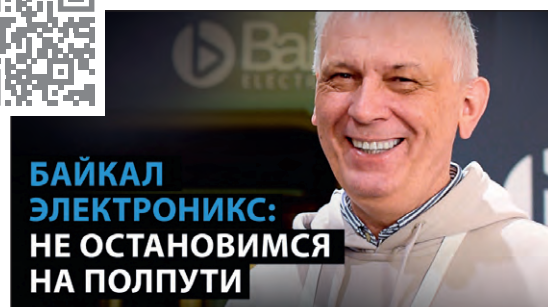
Астра Линукс становится полноценным конкурентом Windows



Об отечественных разработках в промышленной автоматике



В «Байкал Электроникс» уверены в успехе



Разработчик «Байкала»: из чего складывается конкурентоспособность

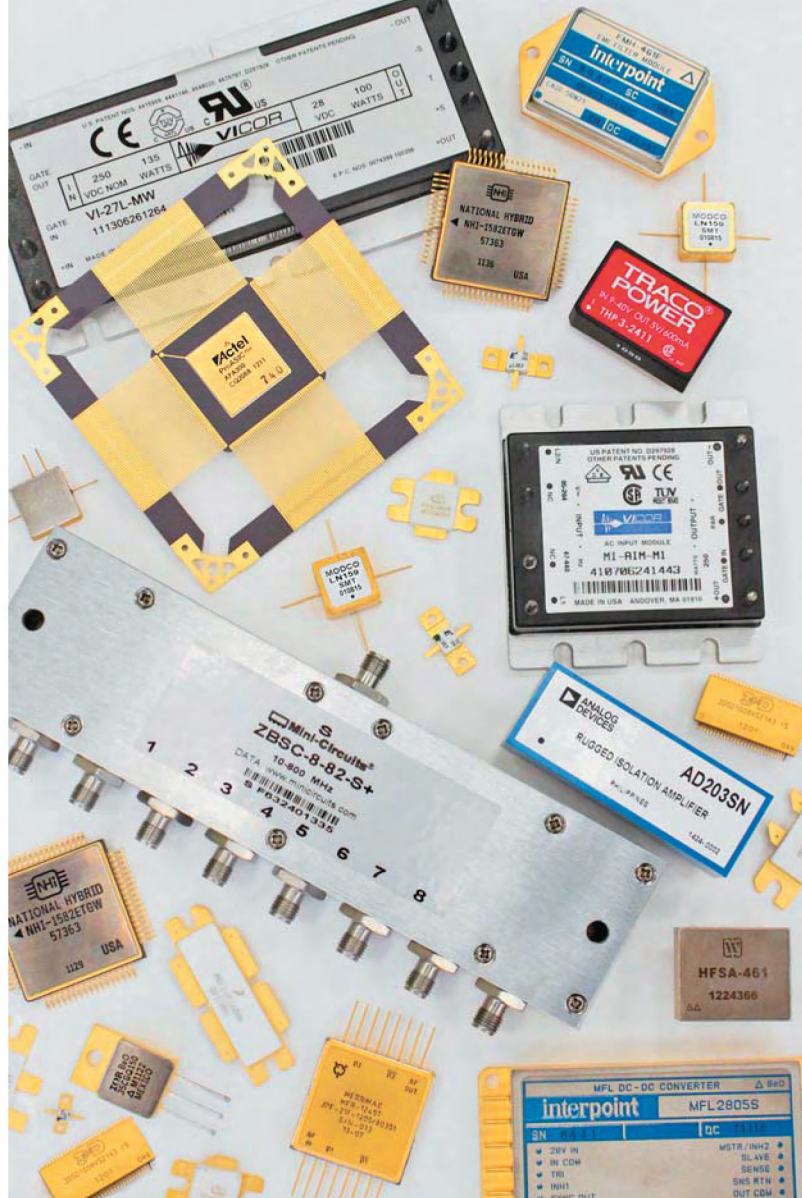


КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ЭКБ

**ВСЯ ПОСТАВЛЯЕМАЯ
ПРОДУКЦИЯ ПРОХОДИТ
«ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ»
И «ИДЕНТИФИКАЦИЮ»**

АО «ТЕСТПРИБОР» осуществляет комплексные поставки электронных компонентов отечественного и иностранного производства для различного применения классов:

- Industrial, ■ Military, ■ Space



ПРОГРАММА ПОСТАВОК

- Микросхемы
- ПЛИС
- СБИС
- Источники питания
- Преобразователи
- Конденсаторы
- Резисторы
- Транзисторы
- Диоды
- Реле
- Переключатели
- Разъемы
- Фильтры
- Атенюаторы
- Ответвители

