

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

2

2022

▶ YouTube



В номере:

Терагерцовая микроэлектроника
завтрашнего дня

Управление буквенно-цифровыми
дисплеями в Proteus

Прецизионное измерение
временных интервалов при помощи
микроконтроллера

Дефицит электронных компонентов
и производители-универсалы



ICAPE

GROUP

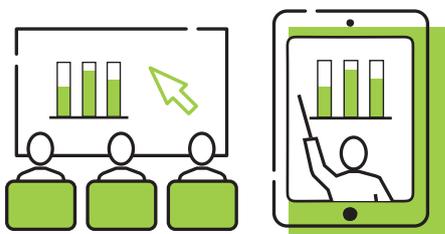
Сила точности



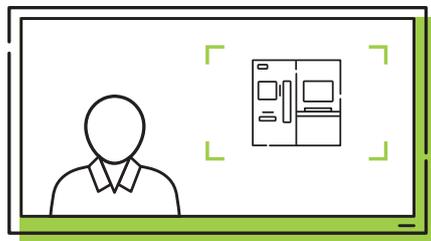
АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



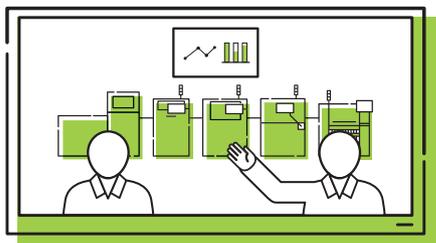
ostec-smart.ru/media



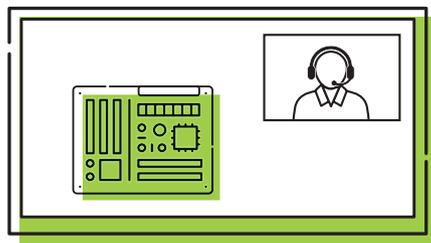
СЕМИНАРЫ
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



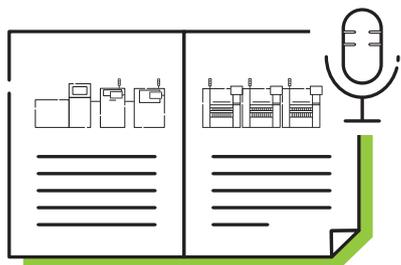
ВИДЕООБЗОРЫ
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



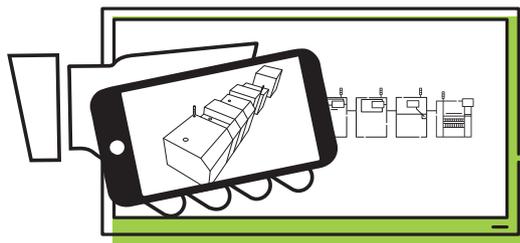
РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ



ЭКСПЕРТНЫЕ
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



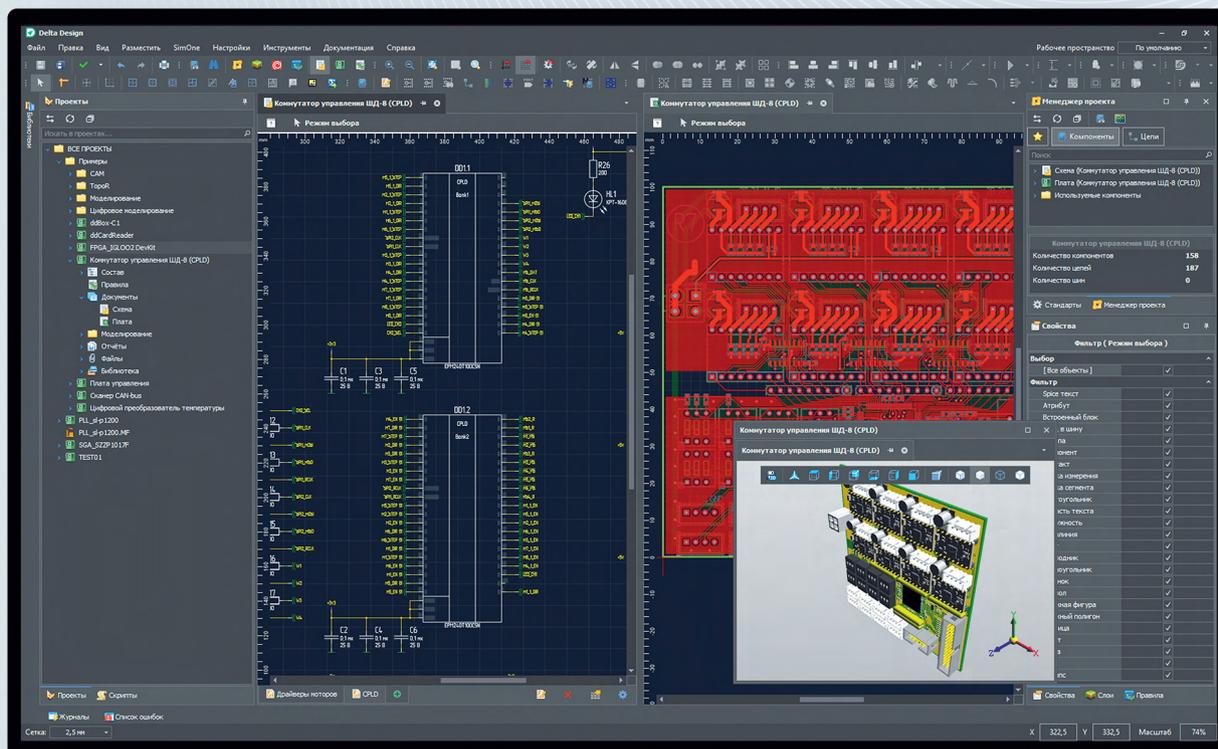
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ПРИЛОЖЕНИЯ



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



Здравствуйте, уважаемые друзья!

По данным аналитиков Gartner, в 2021 году компании – производители полупроводниковых чипов направили на строительство новых мощностей и разработки около \$146 млрд. По информации CNBC, порядка 60% этой суммы пришлось на трёх крупнейших производителей чипов – TSMC, Samsung и Intel. По прогнозам, в текущей пятилетке (2021–2025 годы) капитальные затраты в отрасли почти удвоятся по сравнению с предыдущим периодом (2016–2020 годы). Этот рост будет связан как с возрастающей сложностью новых передовых технологий, так и с реакцией на дефицит чипов, в ответ на который производители стали расширять мощности на многих направлениях.

Главная интрига на рынке микроэлектроники – противостояние двух крупнейших и самых технологичных экономик – США и Китая. Реализуя политику технологической независимости, Китай до 2025 года собирается направить в высокие технологии до \$1,4 трлн государственных и частных инвестиций.

4 февраля Палата представителей США приняла законопроект, направленный на повышение конкурентоспособности Америки в технологической борьбе с Китаем. «Закон о конкуренции в 2022 году» выделяет почти \$300 млрд государственных средств на исследования и разработки, в том числе \$52 млрд на субсидирование производства полупроводников и разработки ключевых компонентов, используемых в автомобильной электронике и компьютерах.

На фоне этих астрономических цифр отечественные достижения и планы выглядят скромно. Тем не менее активность государства, законодательно и финансово поддерживающего разработки в области отечественной микроэлектроники и программного обеспечения, становится всё заметнее. Дорожная карта «Новые поколения микроэлектроники и создание электронной компонентной базы», разработанная «Ростехом», предусматривает потратить на развитие российской микроэлектроники 798 млрд руб. за период до 2024 г.

А «Современная электроника», как всегда, будет держать вас в курсе последних новостей рынка высоких технологий. Мы рады, что вы с нами!

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 1/67/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

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

ICAPE	1-я стр. обл.
Beneq (Lumineq)	58, 59
Delta Design	1
IEE	44
JTAG	25
Keysight	5, 27
Schaefer	23
Smiths Interconnect	40
XP Power	39
АВД Системы	4
Остек-СМТ	2-я стр. обл., 5
ПЛАТАН	4
Симметрон	5
ТЕСТПРИБОР	4-я стр. обл., 13

Скоро на нашем YouTube-канале!

Смотрите новые ролики-интервью с экспертами компаний «Ниеншанц-автоматика» и Legrand, которые расскажут о контроле и мониторинге электропитания для ЦОД.



РЫНОК

- 4** Новости российского рынка
- 6** Ведущие производители полупроводниковых электронных компонентов и дефицит их продукции. Часть 2. Производители-универсалы (IDM)
Виктор Алексеев

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 16** Инновационные способы соединения печатных плат СВЧ
Кива Джуринский
- 20** Современные продукты компании Microchip. Особенности 8-разрядных микроконтроллеров
Юрий Петропавловский

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 26** Выберите подходящее оборудование для тестирования и контроля температуры аккумуляторных батарей
Бернард Энг

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 30** Применение встроенных в микроконтроллер EFM8LB12 конфигурируемых логических элементов для прецизионного измерения временных интервалов
Алексей Кузьминов
- 42** Акустический автомат лестничного освещения с ШИМ-управлением яркостью
Александр Одинец

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 46** Применение программы CodeVisionAVR для управления буквенно-цифровыми дисплеями в Proteus 8.11
Татьяна Колесникова
- 60** Этапы работы с многоплатным проектом в САПР Delta Design
Иван Волков

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

- 65** Перспективные фотонные и фононные отечественные технологии для терагерцовых микропроцессоров, ОЗУ и интерфейса со сверхнизким энергопотреблением
Александр Гордеев, Виктор Войтович, Геннадий Святец

Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

IP-блоки для FPGA и ASIC компонентов промышленной сети стандарта TSN

Компания TTTech (Австрия), производитель компонентов для построения детерминированных сетей, выпустила наборы IP-блоков для реализации механизмов стандартов IEEE 802.1 TSN (Time-Sensitive Networking): набор Edge IP Solution для FPGA и набор Flex IP Solution для проблемно-ориентированных систем на кристалле (ASIC). Набор Edge IP предназначен для прототипирования, а набор Flex IP – для серийного изделия.

Детерминированная по времени сеть TSN – это расширение стандарта Ethernet для промышленных сетей с трафиком, критичным к временным задержкам. В сети Ethernet с поддержкой TSN данные, критичные ко времени доставки, передаются вместе с не критичными данными, и передачи не критичных данных не влияют на время передачи критичных данных. Это дости-

гается применением для критичных данных технологии передачи по временному расписанию.

Наборы IP-блоков поддерживают следующие TSN-стандарты: IEEE 802.1AS-2020 «Time Synchronization», IEEE 802.1Qbv «Time Aware Shaping», IEEE 802.1Qcc «Stream Reservation Protocol Enhancements», IEEE 802.1Qbu «Frame Preemption», IEEE 802.1CB «Frame Replication and Elimination» и IEEE 802.1Qci «Filtering and Policing».

В набор Flex IP входят также IP-блоки для реализации протоколов резервирования (redundancy) в Ethernet-сетях: протокол параллельного резервирования PRP (Parallel Redundancy Protocol) и протокол резервирования кольцевого соединения HSR (High-availability Seamless Redundancy).

Набор блоков Edge IP поддерживает FPGA Intel Cyclone V (SoC), Cyclone 10 GX и Arria 10 (SoC). Для работы с набором Edge IP поставляется комплект разработчика TSN Starter



Package, в который входят также плата коммутатора TSN на базе FPGA и программное обеспечение для разработки топологии и планирования трафика. В стартовом комплекте лицензии на IP-блоки и ПО планировщика временные на срок 6, 12 или 24 месяца.

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

www.avdsys.ru/tttech

Герметичные миниатюрные концевики HD Honeywell

Микропереключатели серии HD Honeywell – это герметичные миниатюрные переключатели семейства MICRO SWITCH, предлагающие экономичное бюджетное решение для производства массовых электроприборов и бытовой техники. Микропереключатели обеспечивают стандартизированное и надёжное решение технической задачи на всём сроке службы эксплуатации прибора. Для быстрого ввода в эксплуатацию (plug-and-play решение) предусмотрены дополнительные возможности по стандартизации проводного или разъёмного соединения. Габариты миниатюрных концевиков составляют 14,7×5,4×7,4 мм.



Монтаж микропереключателей с целью фиксации корпуса можно осуществлять с помощью боковых стоек, через монтажное ушко под винт или пайкой на плату. Электрическое подключение можно организовать проводным методом, пайкой на плату в отверстие, пайкой на штыревой разъём 1,3 мм или пайкой на провод. Каждый вариант электрического подключения имеет вариации прямого, углового или бокового подключения.

Например, проводной монтаж можно проводить с любой из трёх сторон корпуса.

Концевики серии HD выпускаются на два уровня коммутируемого тока: 3 мА / 12 В и 3 А / 12 В пост. тока или 125 В пер. тока, что значительно расширяет круг применений компонентов и позволяет быстро произвести замену на аналог другого производителя. Также микропереключатели сертифицированы по всем международным стандартам, благодаря чему конечное изделие может как производиться, так и эксплуатироваться в любой точке земного шага. Микропереключатели серии HD доступны для закупки со склада в различных модификациях.

www.platan.ru

+7 (495) 97-000-99

Новая серия навесных корпусов Fibox NEO

Группа компаний «Симметрон» представляет совершенно новую серию навесных корпусов производства компании Fibox – NEO (New Enclosure Option) для рынка электротехники, автоматизации и беспроводных средств связи. Спрос на обеспечивающие защиту, надёжные и эффективные корпуса постоянно растёт. Корпуса NEO – это неподвластная времени оптимальная защита благодаря современной усиленной конструкции с дополнительной защитой от механических воздействий и химических веществ.

- 3 типоразмера:
 - 320×220×150 мм
 - 320×320×150 мм
 - 420×320×150 мм
- Два исходных материала – поликарбонат и пластик ABS

NEO – полностью готовая платформа защитных корпусов для Industry 4.0. Предоставляет полную свободу для установки оборудования с беспроводной системой связи.

Корпуса NEO разработаны специально под задачи промышленного контроля, Интернета вещей и автоматизации зда-

ний. В корпусах NEO объединены лучшие решения, применяемые в подобных конструкциях. Корпуса рассчитаны на круглогодичную уличную эксплуатацию, поскольку они нечувствительны к агрессивным воздействиям окружающей среды, таким как пыль, влага, ультрафиолетовое излучение, снег и вода.

В корпусах NEO на первом месте – безопасность. При этом двойная изоляция превосходит любые другие меры безопасности, поскольку она всегда активна, и её защитное действие не ухудшается. Прозрачная дверь также гарантирует комфортную и безопасную эксплуатацию.

Характерные особенности корпусов NEO.

Защита и надёжность:

- высокая степень защиты от проникновения;
- не подвержены коррозии;
- не требуют обслуживания;
- двойная изоляция;
- усиленная дверь;
- широкая защитная герметизирующая прокладка;
- прозрачная дверь с широкой зоной обзора;
- прочные винты из нержавеющей стали;
- встроенный козырёк от дождя.

Эффективность:

- навесная дверь с возможностью переустановки на другую сторону;
- большие площади поверхности для адаптации под нужды заказчика;
- дополнительное пространство для монтажа;
- быстрая установка;
- простая механическая обработка;
- крепление на монтажную поверхность вне защищённой герметизирующей прокладочной зоны;
- угол открывания двери более 180°;
- лёгкий доступ к смонтированному внутри оборудованию.



Пожалуйста, обращайтесь за дополнительной информацией и по поводу заказа.

+7 (495) 961-20-20

moscow@symmetron.ru

+7 (812) 449-40-00

spb@symmetron.ru

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**RENISHAW ЗАПУСТИЛА НОВУЮ ЛИНЕЙКУ 3D-ПРИНТЕРОВ**

Для повышения гибкости при использовании систем аддитивного производства компания Renishaw запустила новую линейку 3D-принтеров.

Однолазерный 3D-принтер RenAM 500S Flex и четырёхлазерный 3D-принтер RenAM 500Q Flex представляют собой модификации серии RenAM 500. Оба принтера имеют упрощённую систему подачи порошка без рециркуляции, что позволяет использовать их в условиях частой смены материала: в исследованиях и разработке, опытным и единичном производстве.

Упрощённая система подачи порошка без рециркуляции обеспечивает лёгкий переход с одного материала на другой без ухудшения качества изделий и снижения производительности.

Очистка принтера производится путём замены элементов системы подачи порошка, которые сложно очистить. Эти элементы можно использовать повторно, если необходимо снова работать с тем же материалом.

Принтеры Renishaw линейки Flex имеют ту же оптическую систему, конструкцию камеры и организацию газовых потоков, что и принтеры серии RenAM 500. Благодаря этому по завершении стадии первоначальной отработки технологии все технологические параметры могут передаваться на RenAM 500Q с системой рециркуляции порошка для серийного производства без необходимости дополнительного тестирования.

Если пользователю больше не требуется гибкий принтер, то Flex можно модернизировать в принтер с системой рециркуляции порошка – это уникальная особенность новой линейки от Renishaw.



Остек-СМТ является эксклюзивным дистрибьютором систем аддитивного производства Renishaw в России и ряде стран СНГ. Специалисты Остек-СМТ проконсультируют и помогут с выбором наиболее подходящего решения.

WWW.OSTEC-SMART.RU

3d@ostec-group.ru

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**Компания Keysight представила новый эмулятор радарных сцен (RSE) для тестирования автономных транспортных средств**

Эмулятор радарных сцен позволяет производителям современных автомобилей проводить лабораторные испытания реальных сценариев вождения, снижая общую продолжительность испытаний.

Эмуляция радарных сценариев в лабораторных условиях имеет решающее значение для разработки надёжных радарных датчиков и алгоритмов, необходимых для реализации возможностей передовых систем содействия водителю (ADAS) и автономного вождения (AD). Эмулятор Keysight объединяет сотни миниатюрных радиочастотных (РЧ) интерфейсов в масштабируемый экран эмуляции, отображающий до 512 объектов на расстоянии вплоть до 1,5 м.

Заявленная технология, используемая в новом решении Keysight, позволяет отказаться от обнаружения объектов посредством симуляции цели в пользу эмуляции сценариев реальной дорожной обстановки. Она предлагает производителям автомобилей следующие ключевые преимущества:

- видеть картину в целом;
- проводить испытания со сложностью реальных условий дорожного движения;
- эффективнее обучать алгоритмы систем ADAS;
- улучшить пространственное разрешение радарных данных для плавного и быстрого перехода к автономности транспортного средства.

Эмулятор является частью платформы «Эмуляция автономного вождения» (ADE), созданной в результате многолетнего сотрудничества компаний Keysight, IPG Automotive и Nordsys. Платформа ADE использует программное обеспечение ADAS и AD посредством визуализации



ции predetermined сценариев использования, которые применяют синхронизированные по времени входные данные к реальным датчикам и подсистемам в автомобиле, таким как глобальная навигационная спутниковая система (GNSS), связь автомобиля с другими объектами (V2X), камера и радар. Будучи открытой платформой, ADE позволяет производителям автомобилей и их партнёрам сосредоточиться на разработке и испытании систем и алгоритмов ADAS/AD, включая алгоритмы объединения датчиков и принятия решений.

www.keysight.com

+7 (495) 797-39-00

Ведущие производители полупроводниковых электронных компонентов и дефицит их продукции. Часть 2. Производители-универсалы (IDM)

Виктор Алексеев, к.ф.-м.н (victor.alexeev@gmail.com)

Пандемия COVID-19 вызвала катастрофические проблемы во всех отраслях экономики. Постепенно нарастающая паника привела к дефициту комплектующих для всех отраслей электронной промышленности. О том, как справлялись с кризисной ситуацией в 2019–2021 годах мировые лидеры TSMC, GlobalFoundries и UMC, изготавливающие продукцию по контрактам и патентам других фирм на собственных предприятиях, было рассказано в первой части статьи, опубликованной в СОЭЛ № 9 за 2021 год. Во второй части рассмотрены пять крупнейших фирм IDM, вошедших в лидеры продаж по итогам 2021 года: Samsung Electronics Co; Intel Corporation; SK hynix; Micron Technology; Texas Instruments.

Лидеры продаж – IDM firms по итогам 2021 года

Глобальный кризис, связанный с дефицитом полупроводниковых электронных компонентов (ПЭК), заставил правительства стран Америки, Европы, Азии и Китая обратить особое внимание на индустрию производства ПЭК.

Первыми забили тревогу США, где производители автомобилей начали терять огромные деньги из-за нехватки полупроводниковых электронных компонентов ПЭК, необходимых для бортовой электроники. Оказалось, что больше 70% стратегически важных ПЭК производится в основном в Азии. На рис. 1 приведена схема, поясняющая градацию производителей ПЭК в зависимости от бизнес-модели предприятия.

В первой части статьи были рассмотрены три лидирующие фирмы из категории Foundries (TSMC, GF, UMC), которые контролируют около 70% мирового производства полупроводниковых электронных компонентов. Причем на

долю TSMC приходится 54% в первом квартале 2021 года. Из фирм Fabless, которые только разрабатывают свою продукцию и заказывают её изготовление у контрактных производителей, в пятёрку лидеров входят Apple, Nvidia, Qualcomm, Broadcom, MediaTek.

Ниже мы остановимся на некоторых базовых характеристиках лидеров производства ПЭК, относящихся к категории Integrated device manufacturers (IDM), которые разрабатывают собственную полупроводниковую продукцию и изготавливают ее на принадлежащих им предприятиях. Кроме полупроводниковых электронных компонентов фирмы IDM производят и законченные электронные устройства, в которых используются также комплектующие других производителей.

Достаточно просто распределить по объёмам продаж крупнейших мировых производителей Foundries, для которых основным видом деятельности является производство, и которые регулярно

публикуют свои доходы (revenue) от этой основной деятельности (TSMC, GF, UMC).

Значительно сложнее оценить с точки зрения объёмов произведённых ПЭК фирмы IDM, которые, являясь публичными компаниями, стараются составлять свои финансовые отчеты таким образом, чтобы поднять стоимость своих акций.

Для оценки состояния компании, как правило, используется суммарная рыночная стоимость компании (Market capitalization – marketcap – MC), которая определяется исходя из общей стоимости всех её акций. Например, по этому показателю лидером мирового рынка в 2021 году стал американский концерн Apple, суммарная рыночная стоимость (market capitalization) которого составила 2,95 трлн долл. США (USD) [2].

Второй важный показатель – это годовая выручка (annual revenue). В табл. 1 приведены данные о marketcap и annual revenue для трёх ведущих мировых производителей полупроводниковых электронных компонентов IDM, которые сами разрабатывают и сами изготавливают ПЭК.

На момент написания статьи были доступны только данные по Samsung Electronics за первую половину 2021 года. Как отмечается в [3], по сравнению с предыдущим аналогичным периодом продажи в первой половине 2021 г. увеличились на 19%.

На рис. 2 показаны данные о годовых доходах (annual revenue) за 2020 г. для десяти ведущих мировых производителей полупроводниковых электронных компонентов IDM, которые сами разрабатывают и сами изготавливают ПЭК.

На рис. 2 и в табл. 1 приведены данные, взятые из работ [4–9].

По результатам продаж 2019–2021 гг. Samsung Electronics и Intel произвели и продали вместе полупроводниковых компонентов больше всех остальных IDM, вместе взятых. Эти две фирмы являются безоговорочными лидерами этого класса IDM (разработчиков – производителей ПЭК).



Рис. 1. Градация производителей ПЭК в зависимости от бизнес-модели предприятия [1]

Таблица 1. Суммарная рыночная стоимость – market capitalization (marketcap) и годовая выручка (annual revenue) для первых десяти мировых фирм IDM – производителей полупроводниковых электронных компонентов

Фирма IDM	Страна	Капитализация в 2021 (Marketcap, млрд USD)	Доход Revenue 2021, млрд USD	Доход Revenue 2020, млрд USD	Доход Revenue 2019, млрд USD
Samsung Electronics Co., Ltd.	Южная Корея	435,90	108,41 ** (1/2 года)	198,92	193,35
Intel Corporation	США	216,12	78,47	77,86	71,96
SK hynix	Южная Корея	73,06	32,52	26,89	22,75
Micron Technology	США	106,45	27,70	22,06	20,63
Texas Instruments	США	176,02	17,58	14,46	14,38
Infineon	Германия	58,70	12,53	10,51	9,03
STMicroelectronics	Швейцария	44,29	12,39	10,18	9,52
NXP Semiconductors	Нидерланды	57,81	10,53	8,61	8,87
Analog Devices	США	88,31	7,31	5,60	5,99
Xilinx	США	46,55	3,46	3,23	3,05

** (данные по отчёту за первые полгода 2021)

Что касается распределения остальных мест, то тут возможны различные варианты, зависящие от метода и источников оценок капитализации и объёмов произведённых электронных компонентов. Следует особо подчеркнуть, что данные по marketcap и revenue далеко не полностью отражают иерархию фирм IDM – производителей ПЭК. Одни фирмы лидируют в производстве микросхем для компьютеров, другие специализируются на микросхемах для смартфонов и планшетов, третьи выпускают основные объёмы ПЭК для автомобильной индустрии.

Есть также фирмы, которые выпускают единственный тип электронных компонентов.

В следующих разделах приведены данные о деятельности первых пяти из указанных в таблице 1 фирм IDM. Более подробно, чем остальные, рассмотрены две фирмы Samsung Electronics и Intel, определившие ситуацию на этом сегменте рынка полупроводниковых электронных компонентов (ПЭК) за двухлетний период пандемии COVID-19.

Компания Samsung Electronics Co – IDM номер один в 2021 году

Компания Samsung Electronics Industry Co., Ltd. была создана 13 января 1969 г. Компания провела IPO и первичное публичное размещение акций в июне 1975 г. (корейская биржа KRX – 005930, 005935) [10]. В 1984 по решению общего собрания акционеров название компании «Samsung Electronics Industry Co., Ltd.» было изменено на «Samsung Electronics Co., Ltd.». Далее в ряде случаев в тексте используется аббревиатура «SEC» или «компания – company», принятые для сокращений в документах

названия Samsung Electronics Co. Основной вид деятельности SEC – это производство бытовой и специальной электроники, включая полупроводниковые электронные компоненты.

Штаб-квартира компании расположена в Корее (129, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, Korea), а 237 её дочерних предприятий, филиалов, представительств и учебных центров расположены в различных регионах мира.

Клиентами SEC являются крупнейшие мировые концерны. В I квартале 2021 г. 13% оборота было получено за счёт пяти фирм: Apple, AVP Electronics, Best Buy, Deutsche Telekom и Verizon [11].

Компания Samsung Electronics Co. входит в огромный холдинг Samsung Group, состоящий из сотен крупных и мелких фирм самого различного направления – от биологических и рыбопромысловых до горнодобывающих, химико-технологических и электротехнических предприятий, в том числе производящих ПЭК [12].

Бизнес-модель SEC максимально, насколько возможно, использует аутсорсинговые фирмы и партнёрские отношения внутри холдинга. В соответствии с Корейскими международными стандартами финансовой отчётности (Korean International Financial Reporting Standards K-IFRS) по состоянию на 30 июня 2021 г. Samsung Electronics Co. указала в официальной документации 237 (двести тридцать семь) подконтрольных предприятий и аффилированных фирм, подлежащих консолидированному учёту (Number of subsidiaries subject to consolidated accounting).

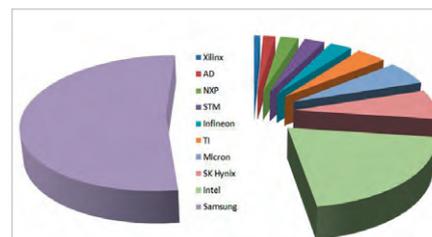


Рис. 2. Данные о годовых доходах (annual revenue) за 2020 год для десяти ведущих мировых производителей полупроводниковых электронных компонентов IDM

История холдинга Samsung Group началась в 1938 году, когда господин Ли Бен Чхоль открыл торговую компанию в городе Тэгу – Samsung Sanghoe. Небольшая фирма занималась экспортом сушёной рыбы, фруктов и овощей в Маньчжурию. Подробно эта история описана, например, в [13]. На момент образования Samsung во многом стал экономикообразующим для страны предприятием. Сейчас выручка холдинга Samsung Group составляет 20% ВВП Южной Кореи.

Основные исторические моменты развития Samsung Electronics Co. представлены в табл. 2 [14], а в табл. 3 указаны приобретения и изменения в названиях SEC и её дочерних компаний за последнее время.

Структурно весь бизнес Samsung Electronics Co. состоит из двух больших блоков: бизнес готовой продукции, включающий в себя подразделения SE (бытовая электроника) и IM (Информационные технологии и мобильная связь), и бизнес компонентов DS, состоящий из бизнес-подразделений Semiconductor (SC) и Display Panel (DP). Эти подразделения управляются с помощью 9 региональных штаб-квартир для бизнес-структур SE и IM, а также 5 региональных штаб-квартир для DS и дочерних компаний Harman [15].

Структура бизнеса Samsung Electronics Co. и ключевые продукты каждого подразделения представлены в табл. 4.

Подразделение SE производит телевизоры, мониторы, холодильники, стиральные и посудомоечные машины, кондиционеры, а также другую бытовую технику. Телевизоры являются основным продуктом подразделения SE. Компания SEC в течение последних 15 лет подряд лидирует в таких областях, как ЖК-телевизоры, светодиодные телевизоры, программно-управляемые продукты в линейке Smart TV, сверхбольшие телевизоры 8K QLED.

Таблица 2. Основные исторические моменты развития Samsung Electronics Co.

13 января 1969	Samsung Electronics Manufacturing Incorporated
11 июня 1975	IPO на Корейской фондовой бирже
28 февраля 1984	Переименован в Samsung Electronics
1 ноября 1988	Слияние с Samsung Semiconductor and Communications
1 августа 1992	Разработана первая в мире 64M DRAM
23 марта 2010	Представлен Galaxy S
2 сентября 2010	Представлен Galaxy Tab
11 февраля 2011	Запуск Eхynos, первая мобильная точка доступа
1 сентября 2011	Представлен Galaxy Note
1 апреля 2012	Выделено подразделение ЖК-дисплеев – Samsung Display
26 июня 2013	Запуск S4 LTE-A, первого в мире смартфона с поддержкой LTE-A
6 августа 2013	Массовое производство первых в мире чипов флэш-памяти 3D V-NAND
24 сентября 2013	Разработка ISOCELL, инновационная технология CMOS датчиков изображения
5 марта 2017	Выпущен усовершенствованный QLED-телевизор на основе квантовых точек
10 марта 2017	SEA приобрела акции Harman International Industries, Inc (100%)
4 июля 2017	Начал работу крупнейший в мире завод по производству полупроводников в Пхёнхэке
30 августа 2018	Выпуск телевизоров QLED 8K с технологией Quantum Dot
7 ноября 2018	Первый складной дисплей на конференции разработчиков Samsung
3 апреля 2019	Запущен смартфон Galaxy S10 5G с поддержкой 5G
24 апреля 2019	Roadmap-2030 «Semiconductor Vision 2030» – инвестирование 133 трлн вон до 2030 года в полупроводниковые системы и трудоустройство 15 000 человек
4 сентября 2019	Представлен Eхynos 980, мобильный процессор 5G
6 сентября 2109	Представлен Galaxy Fold, складной телефон с новым форм-фактором
29 января 2020	Выпущена стиральная/сушильная машина Grande AI на основе технологии искусственного интеллекта
4 февраля 2020	Выпущена первая в мире сверхскоростная память DRAM для ИИ и суперкомпьютеров следующего поколения
11 февраля 2020	Представлена складная модель Galaxy Z Flip с новым форм-фактором
30 августа 2020	Введена в эксплуатацию линия 2 в Пхёнхэке – крупнейшая в мире линия по производству полупроводников
7 января 2021	Представлен телевизор Neo QLED
11 мая 2021	Объявлено о выходе на мировой рынок «Дом на заказ»
3 июня 2021	Получен сертификат на снижение выбросов углерода, использование воды

Таблица 3. Приобретения и изменения названий SEC

Год	Покупатель (первоначальное имя)	Продавец (последнее имя в 2021)	Процесс
2017	Samsung Electronics America, Inc. (SEA)	Harman International Industries, Inc.	Покупка
2017	Quietside LLC	Samsung HVAC America LLC	Изменение названия
2017	NewNet Communication Technologies (Canada), Inc.	SigMast Communications Inc.	Изменение названия
2017	Martin Professional ApS	Harman Professional Denmark ApS	Изменение названия
2018	Harman Connected Services Finland OY	Harman Finland Oy	Изменение названия
2018	Harman Professional Singapore Pte. Ltd.	Harman Singapore Pte., Ltd.	Изменение названия
2018	Samsung Electronics America, Inc.	Samsung Pay, Inc.	Слияние
2018	Harman Connected Services, Inc.	Harman Connected Services Holding Corp.	Слияние
2018	Акции SEA в Nexus DX, Inc.	ND	Продажа
2019	Samsung Electronics Greece S.A. (SEGR)	Samsung Electronics Greece S.M.S.A. (SEGR)	Изменение названия
2019	Samsung Electronics Benelux BV (SEBN)	Corephotonics Ltd.	Покупка
2019	SEC	Бизнес PLP у фирмы Samsung Electro-Mechanics	Покупка
2019	Harman Becker Automotive Systems Manufacturing Kft	Duran Audio BV	Объединение
2019	Samsung (China) Investment Co., Ltd. (SCIC)	Samsung Electronics (Beijing) Service Company Limited (SBSC)	Объединение
2021	Samsung Research America, Inc. (SRA)	Viv Labs, Inc.	Объединение
2021	Samsung Electronics Portuguesa S.A. (SEP)	Samsung Electronics Portuguesa, Unipessoal, Lda. (SEP)	Изменение названия

Подразделение IM производит и продаёт смартфоны, интеллектуальные мобильные устройства, сетевые системы и компьютеры. Основным продуктом этого сегмента бизнеса являются смартфоны, универсальная линейка которых включает модели, удовлетворяющие практически любым требованиям, начиная от простых моделей для школьников и заканчивая элитными моделями 5G серии Galaxy.

В состав департамента DS входят два подразделения: Semiconductors (SC) и Display Panel (DP).

Подразделение Semiconductors (Semi) занимается всеми вопросами, относящимися к полупроводниковой тематике: от разработки новых моделей микросхем и технологии их изготовления до процессов управления производственными линиями.

Отделение Foundry Business, входящее в состав Semiconductors, отвечает за заводы по производству полупроводниковых микросхем, как разработанных самой компанией, так и заказанных сторонними фирмами категории Fabless.

В табл. 5 приведены данные о заводах, входящих в подразделение Foundry Business.

В 2021 году была завершена модернизация линии на заводе Pyeongtaek (South Korea), предназначенной для технологических процессов 5 нанометров (нм) и ниже на основе EUV. Этот завод играет ключевую роль в развитии передовых технологических процессов во множестве приложений текущего и следующего поколения, включая 5G, высокопроизводительные вычисления (HPC) и искусственный интеллект (рис. 3).

Отдел Display Panel (DP) разрабатывает и изготавливает OLED-панели, дисплеи для телефонов и компьютеров, QD-телевизоров, игровых приставок, автотранспорта, складных устройств и т.д.

Подразделение Хармана (Harman), появившееся в составе SEC в 2017 году, проектирует и разрабатывает законченные продукты и решения для автопроизводителей, такие, например, как автомобильные аудио- и видеосистемы, блоки навигации, приборные панели, парковочные устройства и т.д.

На рис. 4 показано распределение доходов Samsung Electronics Co. по различным сегментам бизнеса согласно данным промежуточного отчёта за шесть месяцев 2021 года [17].



Рис. 3. Завод Samsung Pyeongtaek в Южной Корее [16]

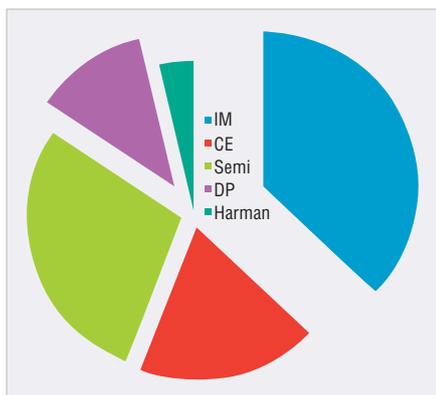


Рис. 4. Распределение доходов Samsung Electronics Co. по различным сегментам бизнеса согласно данным промежуточного отчёта за шесть месяцев 2021 года

Как видно из рис. 4, в первой половине 2021 года примерно 39% всей выручки пришлось на IT и мобильные коммуникации (подразделение IM), около 31% было получено из полупроводниковой тематики. Чуть больше 17% дали продажи бытовой электроники. Остальное поступило от продаж дисплеев и автомобильных комплектующих Harman.

Одно из основополагающих направлений деятельности компании – это НИР. Каждое из перечисленных подразделений имеет отдел R&D, который занимается краткосрочными разработками и текущими вопросами модернизации существующего производства. В каждом бизнес-подразделении имеется свой собственный научно-исследовательский институт, разрабатывающий средне- и долгосрочные технологии с перспективой на 3–5 лет. Возглавляет всю научно-исследовательскую работу Samsung Advanced Institute of Technology, который разрабатывает базовые инновационные технологии с перспективой на десятки лет. Кроме того, Samsung Electronics Co. имеет центры R&D в различных странах: US (SRA), China (SRC-Beijing, SRC-Nanjing, SRC-Guangzhou, SRC-Shenzhen,

Таблица 4. Структура бизнеса Samsung Electronics Co. и ключевые продукты каждого подразделения

Подразделение		Основные продукты
CE (Consumer Electronics)		Телевизоры, мониторы, холодильники, стиральные машины, кондиционеры и т.д.
IM (IT & Mobile communication)		Смартфоны, интеллектуальные гаджеты, сетевые системы, компьютеры и т.д.
DS (Device Solutions)	Semiconductor (Semi)	Разработка и производство полупроводниковых микросхем: DRAM, флэш-памяти NAND, процессоров, встраиваемых беспроводных модемов, сенсоров для смартфонов и гаджетов, точек доступа и других продуктов
	DP (Display panel)	Дисплеи ЖК, светодиодные и другие, OLED-панели для смартфонов, дисплеи для телефонов, компьютеров, QD-телевизоров, автотранспорта и т.д.
Harman		Цифровые приборные доски, автотелематика, автоаудиосистемы и т.д.

Таблица 5. Заводы, входящие в подразделение SEC Foundry Business

Название	Расположение	Начало работы	Диаметр пластины, мм	Тех. процесс, нм	Продукция
V1-Line	South Korea, Hwaseong	2020	300	7	Микропроцессоры, Foundry
S3-Line	South Korea, Hwaseong		300	10	DRAM, VNAND, Foundry
S2-Line	USA, Texas Texas, Austin	2011	300	65–11	Микропроцессоры, FDSOI, Foundry, NAND[244]
S1-Line	South Korea, Giheung	2005	300	65–7	Микропроцессоры, S.LSI, LED, FDSOI, Foundry
Pyeongtaek	South Korea, Pyeongtaek	2017	300	14	V-NAND, DRAM, Foundry
6 Line	South Korea, Giheung		200	180–65	Foundry
Samsung China Semiconductor	China, Shaanxi Province				DDR Память
Samsung Suzhou Research Center (SSCR)	China, Suzhou, Suzhou Industrial Park				DDR Память
Onyang Complex	South Korea, Chungcheongnam-do				Дисплеи
F1x1	China China, Xian	2014	300	20	VNAND
Giheung Campus	South Korea, Gyeonggi-do, Yongin				LED
Hwasung Campus	South Korea, Gyeonggi-do, Hwaseong				LED
Tianjin Samsung LED Co., Ltd.	China, Tianjin, Xiqing, Micro-Electronic Industrial Park, Weisi Road				LED

and SSCR), India (SRI-Bangalore and SRI-Delhi), Bangladesh (SRBD), Israel (SRIL and SIRC), Russia (SRR), Japan (SRJ).

Деятельность SEC защищена патентами и лицензиями. В настоящее время компания владеет 205 816 патентами по всему миру.

В табл. 6 приведены финансовые результаты бизнеса Samsung Electronics Co. за первый, второй и третий кварталы 2021 года.

В табл. 7 приведены данные по отдельным сегментам бизнеса SEC за первую половину 2021 года в сравнении с первой половиной 2020 года [19].

Следует отметить, что в целом 2021 год сложился для Samsung Electronics Co достаточно хорошо. В конце января 2022 года SEC сообщила о рекордном результате доходов,

полученных в IV квартале 2021 года, составивших 76,57 трлн южнокорейских вон (KRW). Операционная прибыль за этот квартал составила 13,87 трлн KRW. В целом доходы и прибыль за 2021 год составили соответственно 279,6 трлн и 51,63 трлн KRW. Это лучшие результаты за всю историю SEC [20].

Несмотря то что в период пандемии полупроводниковые микросхемы продолжали оставаться в дефиците и розничные цены на них постоянно росли во всех регионах мира, компания SEC выполнила все обязательства по контрактам с крупными клиентами 2021 в намеченные сроки и вошла в 2022 без долгов по этим поставкам [21].

В основном за счёт снижения собственных затрат SEC смогла удержать

Таблица 6. Доходы (revenue) для различных сегментов бизнеса Samsung Electronics Co за III квартал 2021 года

Финансовый показатель	Англоязычная нотация	Q3 2021, *Trillion KRW	Доля от продаж, %	Q2 2021, Trillion KRW	Доля от продаж	Q1 2021, Trillion KRW
Продажи	Sales	73,98	100	63,67	100	66,96
Стоимость продаж	Cost of Sales	42,9	58	37,07	58,2	39,97
Валовая прибыль	Gross Profit	31,08	42	26,61	41,8	26,99
Общие и административные расходы	SG&A expenses	15,26	20,6	14,04	22	14,64
Расходы на НИОКР	R&D expenses	5,11	6,9	5,38	8,5	5,31
Операционный доход	Operating Profit	15,82	21,4	12,57	19,7	12,35
Прочие внереализационные доходы/расходы	Other non-operating income/expense	0,1	0	0,14	0	0,06
Прибыль/убыток по методу долевого участия	Equity method gain/loss	0,27	0	0,19	0	0,23
Финансовые доходы/расходы	Finance income/expense	0,17	0	0,26	0	0,21
Прибыль до подоходного налога	Profit Before Income Tax	16,36	22,1	12,88	20,2	12,84
Подоходный налог	Income Tax	4,06	0	3,25	0	3,48
Чистая прибыль	Net profit	12,29	16,6	9,63	15,1	9,36
Прибыль, приходящаяся на владельцев материнской компании	Profit attributable to owners of the parent	12,06	16,3	9,45	14,8	9,27

*Поскольку Samsung Electronics в своих отчётах использует национальную валюту, в таблице 6 финансовые показатели приведены в соответствии с оригинальной статьёй в триллионах южнокорейских вон (KRW). 1 KRW = 0.00083 USD.

Таблица 7. Сравнительные данные по сегментам бизнеса SEC за первую половину 2021 года в сравнении с первой половиной 2020 года

*Финансовый показатель, трлн вон	1/2 года	***CE	IM	Semi	DP	Harman	Total
Чистая выручка (Net revenue)	2021	26,4	51,88	41,75	13,79	4,79	129,1
	2020	20,5	46,76	35,88	13,31	3,64	108,3
**Износ основных средств (Depreciation)	2021	0,32	0,36	10,15	2,79	0,153	14,36
	2020	0,29	0,48	8,58	3,15	0,17	13,2
Амортизация (Amortization)	2021	0,04	0,56	0,52	0,12	0,11	1,47
	2020	0,04	0,71	0,54	0,13	0,12	1,62
Операционный доход (Operating profit)	2021	2,18	7,63	10,29	1,65	0,22	21,95
	2020	1,18	4,61	9,42	ND	0,28	14,59

* Финансовые показатели приведены в триллионах южнокорейских Вон (KRW). 1 KRW = 0,00083 USD.

** При вычислениях износа основных средств использовались значения цены продажи, а также административные издержки.

*** Используются следующие сокращения: CE – Consumer Electronics; IM – IT & Mobile communication; DS – Device Solutions; Semi – Semiconductor; DP – Display panel; Harman – Harman International Industries

в приемлемом диапазоне оптовые цены по заключённым ранее контрактам.

Во всех сегментах бизнеса Samsung Electronics Co. наблюдался заметный рост продаж. Например, подразделение Semiconductor только за первую половину 2021 года увеличило продажи на 16%.

В четвёртом квартале 2021 г. подразделение Semiconductor, в которое входят и заводы по изготовлению ПЭК (отдел Foundry), получила наилучшие за все годы результаты продаж с выручкой 26,01 трлн вон и операционной прибылью 8,84 трлн вон.

Такие показатели были достигнуты благодаря увеличению продаж для крупных заказчиков высокопроизводительных вычислительных процессоров и получению новых заказов на производство микросхем. Кроме того, в подразделении Foundry было налажено массовое производство с использованием процесса GAA 1-го поколения.

В 2020–2021 годах, в связи с инвестициями в строительство новых мощных ЦОД, заметно увеличился спрос на вычислительные процессоры для подобных приложений.

Итоги года показали, что активно развивается направление «Samsung System LSI – S.LSI», основной целью которого является разработка и производство микросхем с минимальным потреблением. Созданные в рамках этого проекта системы System-on-Chip (SoC) содержат на одном кристалле процессорные ядра, память, высокоскоростные интерфейсы ввода-вывода и микромощные регуляторы питания. В качестве примера можно привести мобильные процессоры семейства Exynos, предназначенные для питания самых разных современных устройств, от мобильных гаджетов премиум-класса до автомобильных систем, сохраняющих работоспособность в течение многих месяцев без подзарядки аккумулятора (рис. 5).



Рис. 5. Процессоры семейства Exynos [22]

В качестве другого примера можно привести набирающие всё большую популярность датчики изображения ISOCELL Plus и Smart-ISO с разрешением матрицы 108 Мп. Они позволяют делать фото с качеством, которое обеспечивают цифровые зеркальные камеры. Датчики изображения Samsung ISOCELL при использовании в автомобильных системах безопасности обеспечивают безопасное вождение благодаря более чёткому изображению и более точному обнаружению объектов.

Разработанная SEC уникальная архитектура RFextremeFET (RFeFET™), предназначенная для 8-нм РЧ сборок на кристалле, позволяет значительно улучшить радиочастотные характеристики и производительность при меньшем энергопотреблении [23].

Наряду с процессорами, подразделение Semiconductors увеличило в 2021 г. производство памяти DRAM и NAND. С одной стороны, спрос на динамические ОЗУ вырос благодаря спросу на современные многоядерные компьютеры. С другой стороны, в период COVID-19 резко увеличились потребности рынка в игровых приставках, в которых используются видеокар-

ты DRAM. Кроме того, дефицит DRAM подогревался за счёт растущего спроса на майнинг криптовалют. Эти же факторы повлияли и на рост продаж NAND. В 2021 г. компания SEC значительно увеличила производство DRAM – 15-нм и NAND для серверных твердотельных накопителей SSD, 128/176-слойной памяти V-NAND, а также 14-нм DRAM с использованием технологии EUV.

Хорошие результаты были получены в 2021 г. на второй производственной линии Samsung Electronics в Пхёнхэке, где налажено массовое производство 16 Гбит мобильной памяти DRAM LPDDR5 с использованием технологии EUV. Новая модель 16 LPDDR5 10-нм, помимо уникальной ёмкости, обладает высочайшей производительностью, что позволяет использовать её в новых смартфонах 5G со встроенными функциями искусственного интеллекта [24].

Из последних разработок Samsung Electronics нужно отметить оперативную память на основе MRAM (магнито-резистивная память с произвольным доступом). Устройство принципиально нового класса позволяет интегрировать память и транзисторную часть микросхемы в чипы искусственного интеллекта (ИИ) следующего поколения [25].

Доходы подразделения дисплеев DP в этом году суммарно продолжали увеличиваться благодаря сегменту мобильных панелей и росту рынка складных устройств. Однако возросли убытки от продаж крупных панелей, обусловленные общим снижением цен на ЖК-дисплеи. Кроме того, на показатели сегмента DP повлияли дополнительные расходы, связанные с развитием технологии дисплеев QD. В 2021 году спрос на OLED-дисплеи увеличился в связи с началом коммерческой эксплуатации сетей 5G. Ожидается, что в ближайшие годы эта тенденция будет продолжаться.

Консолидированная выручка подразделения дисплейных панелей в IV квартале 2021 г. составила 9,06 трлн вон, а операционная прибыль – 1,32 трлн вон.

Увеличение доходов SEC в 2021 году было обусловлено во многом бизнесом по производству готовой продукции в сегменте CE (consumer electronics), а также увеличением продаж смартфонов премиум-класса, включая складные телефоны. Кроме того, выросли продажи телевизоров Lifestyle, Neo QLED с процессором Neo Quantum Processor

и новой бытовой техники последнего поколения, например, Bespoke Jet™ [26].

Выручка подразделения IM (Mobile Communication) несколько увеличилась за счёт продаж продуктов премиум-класса, таких, например, как складные телефоны (рис. 6) и другие новые продукты «The New Epic Standard of Smartphone Experiences» [27].

На своём 5-м ежегодном форуме «Samsung Foundry Forum 2021», прошедшем в октябре в США, компания представила планы по постепенному переходу на 3- и 2-нм технологии на базе структуры транзисторов Gate-All-Around (GAA). Производственные линии с уникальной технологией GAA-3нм, Multi-Bridge-Channel FET (MBCFET™) будут запущены в 2022 году, а с технологией 2-нм – в 2025 году [29].

Огромное внимание Samsung Electronics Co. уделяет развитию производства. В 2021 году капитальные затраты компании достигли в общей сложности 48,2 трлн вон.

На модернизацию линии по изготовлению 15-нм DRAM и на технологию на основе EUV и V-NAND 6-го поколения на фабриках в Пхёнхэке и Сиане было потрачено 43,6 трлн вон. На усовершенствование технологии изготовления дисплеев QD израсходовано 2,6 трлн вон.

Новая производственная линия в Пхёнхэке будет завершена во втором полугодии 2022 года и будет производить 14-нм микросхемы DRAM и 5-нм логические чипы [30].

В ноябре 2021 года Samsung Electronics Co. объявила, что до 2025 года в развитие новых технологий и расширение производства будет вложено 205 млрд USD. На первом этапе этого плана SEC построит в городе Тейлоре, штат Техас, США, новый завод по производству полупроводников с использованием инновационных технологий следующего поколения. Предполагаемая стоимость строительства составляет 17 млрд USD. Завод Samsung Taylor займёт площадь более 5 млн м². Для строительства завода выделен участок, расположенный в 25 км к юго-западу от действующего предприятия Samsung Austin, что позволит этим двум производствам совместно использовать необходимую инфраструктуру и ресурсы.

Закладка фундамента состоится в первой половине 2022 года, а ввод объекта в эксплуатацию запланирован на вторую половину 2024 года. Вместе с

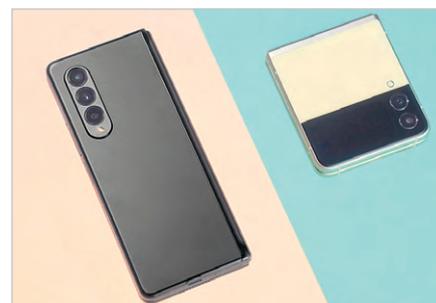


Рис. 6. Новый складной телефон Samsung [28]

последней производственной линией в Пхёнхэке, Южная Корея (Pyeongtaek, South Korea), новые производственные мощности в Тейлоре позволяют Samsung Electronics выпускать уникальные инновационные микросхемы в объёмах, необходимых для того, чтобы в будущем предотвратить кризисы, подобные кризису 2020–2022 гг. [31].

Вместе с тем Samsung Electronics Co. все ещё продолжает ощущать проблемы со сроками поставок некоторых типов памяти и процессоров, которые могут проявляться и в 2022 году [32].

Корпорация Intel – IDM номер два в 2021 году

Один из крупнейших мировых IDM-производителей американская транснациональная корпорация Intel разрабатывает и выпускает процессоры и другие полупроводниковые микросхемы, предназначенные для компьютеров, серверов, сетевых и коммуникационных систем.

Фирма Intel была основана в США в 1968 году химиком Гордоном Муром, работавшим в Fairchild Semiconductor, и физиком Робертом Нойсом, одним из разработчиков транзисторной памяти. Третьим сотрудником Intel был химик Энди Гроув, который позже руководил компанией на протяжении большей части 1980-х и 1990-х годов. Следует упомянуть, что это тот самый Гордон Мур, который сформулировал закон «Moore's law», утверждающий, что количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца.

На заводах и НИЦ, расположенных по всему миру, работает около 120 тысяч сотрудников.

В настоящее время Intel имеет 11 заводов для производства процессоров и микросхем для компьютеров на территории США: D1B, RB1, D1C, RP1, D1D, D1X, Fab 11X, Fab 12, Fab 22, Fab 32, Fab 42. Из них 2 завода могут работать с технологиями 14-нм, 10-нм, 7-нм, 5-нм

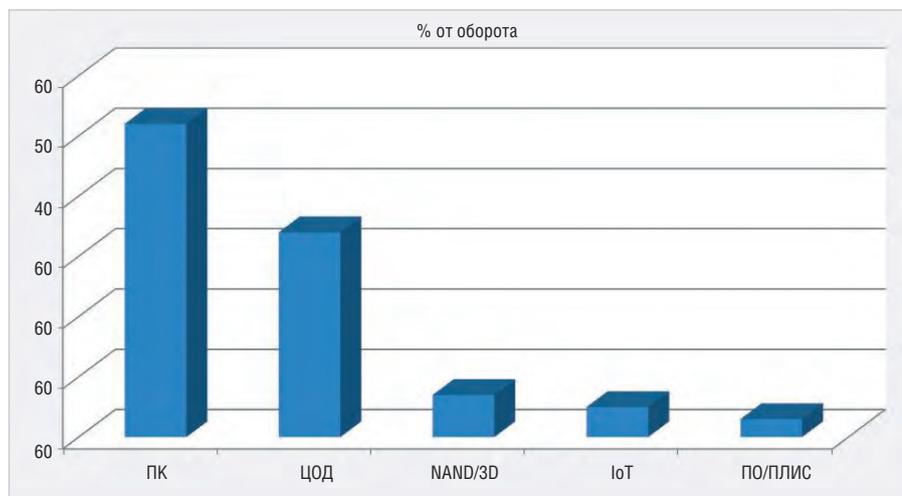


Рис. 7. Распределение доходов (revenue) за 2020 год от различных бизнес-сегментов Intel.
 Под обозначением ПО на рисунке подразумеваются FPGA + серверное программное обеспечение.
 В декабре 2021 года китайская фирма SK hynix купила заводы и бизнес SSD, NAND Intel

Таблица 8. Основные знаковые события из истории Intel

Дата	Событие
1968	Основание Intel, первоначальные инвестиции — 2,5 млн USD
1969	3101/3301 — Schottky TTL bipolar 64-bit Intel SRAM, 1101 — MOSFET SRAM
1970	IPO, Santa Clara, California, USA Intel Corporation (Nasdaq-INTC)
1970	1103 — DRAM
1971	Первый в мире микропроцессор Intel 4004 (рис. 8)
1973	Первый микрокомпьютер Intel
1990	Самые массовые в мире ПК IBM AT 386 (PC, PS/2-80) на базе Intel 80386
1989	Новый процессор Intel 80486 (i486, или просто 486-й)
1992	Новое семейство процессоров Pentium и Itanium
1994–1998	Intel построила пять заводов: Fab 10, Fab 14, Fab 12, Fab 18, CR1
1996	Fab 12 внедрена самая передовая технология 14-нм/пластины 300 мм (рис. 9)
1990–2013	Intel приобрела 10 компаний по всему миру: Wind River Systems, McAfee, Infineon (частично), Silicon Hive, Telmap, Invision, Mashery, Stonesoft Corporation, Omtek Interactive, Indisys
2001–2013	Построено 9 заводов: D1C, D1D, D1X, Fab 11x, Fab 24, Fab 32A, Fab 28, Fab 68
2005	Использование процессоров Intel x86 в компьютерах Apple Macintosh
2006	Новая платформа Core для создания профессионального контента
2008	Intel Penryn, Nehalem для ядер Core i7 и Core i5
2011	Пилотный проект с ZTE «Смартфон с процессором Intel Atom»
2011	Начало строительства Fab 42 в городе Чандлер (Аризона, США)
2011	Проект «Ultrabook» — Intel + Apple
2012	Новая версия Google Android 2.3 с поддержкой микропроцессора Intel Atom
2013	Создание альянса «The Alliance for Affordable Internet (A4AI)»
2013	Отказ от направления Ultrabook
2013	Новые контракты с Altera, Achronix, Tabula, Netronome, Microsemi и Panasonic
2014	Новый процессор Broadwell 14-нм
2015	Новый процессор Skylake 6-го поколения, 14-нм
2016	Intel закрыла направление SoFIA и Broxton Atom SoC
2016	Новый процессор Core 7 Kaby Lake
2017	Отдел ПК безопасности Intel преобразован в фирму с названием McAfee
2018	Новый процессор Whiskey Lake 8-го поколения Intel Core, 14-нм
2018	Первые образцы микропроцессора 10-нм на базе ядра Core 8 (Cannon Lake)
2018	Новый микромощный Amber Lake Y с «Enhanced 14nm++ process»
2019	Новое семейство процессоров Intel 9-го поколения Core i9-99xxx
2019	Новое семейство процессоров 10-го поколения Ice Lake (Comet и Amber Lake)
2019	Первая серия 10-нм процессоров Intel Core 10-го поколения (Ice Lake)
2020	Новое семейство мобильных процессоров 11-го поколения Intel Xeon W-xxxx
2021	Новое семейство мобильных процессоров 11-го поколения Intel Rocket Lake-S
2021	Новое семейство мобильных процессоров 12-го поколения Intel Alder Lake-S

и 4 завода рассчитаны на технологии 14-нм, 10-нм, 7-нм. Более старые предприятия работают с технологиями 22- и 45-нм. В настоящее время наиболее продвинутый завод Fab 42, расположенный в Аризоне и сертифицированный по технологиям 7-, 10- и 14-нм, является одним из основных источников дохода Intel.

Ещё два завода Fab 24 расположены в Ирландии и два в Израиле – Fab 28a и Fab 28 [33].

В 2017–2018 гг. Intel производила около 90% компьютерных процессоров в мире и 99% серверных чипов для центров обработки данных. На сегодняшний день доля Intel в этих приложениях стала несколько меньше.

На своих предприятиях Intel производит как законченные изделия, так и отдельные электронные компоненты следующих категорий:

- процессоры (Xeon, Core, Pentium, Celeron, Atom);
- визуальные процессоры (Intel Movidius);
- специализированные процессоры для IoT (Intel Core 12 – Alder Lake);
- рабочие станции;
- настольные ПК;
- ноутбуки (Evo, Intel);
- готовые комплекты (Intel IoT RFP Ready Kits);
- контроллеры питания (FPGA, ASIC, SoC, Monitor);
- серверная продукция (одноузловые и многоузловые серверы, блоки для ЦОД, системные платы для серверов, SAS/RAID);
- FPGA и программируемые устройства (Intel® FPGA, микросхемы FPGA, ориентированные на периферию, CPLD, конфигурирующие устройства);
- программное обеспечение (Intel® Quartus® Prime, SW Intel Server Management).

Ключевых клиентов Intel можно разделить на две основные группы. Первую группу составляют OEM/ODM-производители компьютерных систем, сотовых телефонов, портативных вычислительных устройств, а также телекоммуникационного и сетевого коммуникационного оборудования, которые приобретают у Intel комплектующие для своих изделий. В 2020 году среди покупателей в этой категории три первых места заняли: Dell – 17% от годового оборота (Intel's total revenues); Lenovo – 12% и HP Inc – 10%.

С августа 2021 года у Intel появился новый мощный заказчик – Министерство обороны США [34].



ЛАБОРАТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ

ЭКБ И РЭА

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ШИРОКИЙ СПЕКТР ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ (ЭКБ) И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (РЭА)

Для обеспечения качественной поставки ЭКБ проводятся:

- Входной контроль
- Отбраковочные испытания
- Климатические испытания
- Механические испытания
- Диагностический неразрушающий контроль
- Разрушающий физический анализ
- Испытания по оценке надежности ЭКБ
- Проверка на отсутствие признаков контрафактной продукции

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- ГОСТ РВ 20.57.416
- ГОСТ РВ 20.57.305
- ГОСТ РВ 20.57.306
- ГОСТ РВ 20.57.414
- ГОСТ Р 51293-99
- ГОСТ 20.57.406
- ГОСТ 9.048
- ОСТ В 11.073.013
- КТ-160G

АККРЕДИТАЦИЯ

- СДС «ЭЛЕКТРОНСЕРТ» №ЭС 01.061.0140-2021 от 25 июня 2021 г.
- СДС «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР» №ВР АА.7.41.0040-2017 от 26 мая 2017г.
- Межгосударственной авиационном комитете - Авиационном регистре (АРМАК) от 21 октября 2016 г.
- Аттестат Росавиации от 22 ноября 2021 г.

Реклама



+7 (495) 657-87-37



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



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

Во вторую группу покупателей входят пользователи ПК и сетевых коммуникационных продуктов, которые покупают продукцию Intel в виде законченных изделий, модемов и Wi-Fi-модулей через дистрибьюторов по всему миру.

Основные доходы корпорация Intel в 2021 году получила от своих бизнес-сегментов «Personal Computer Client Group» и «Data Center Group» (рис. 7) [35].

Основные знаковые события из истории Intel приведены в табл. 8.

Более подробную информацию об основных моментах развития Intel можно найти в увлекательной и подробной книге, написанной основателями фирмы (рис. 8) [37].

Из-за перечисленных проблем и сбоев в технологии 10-нм на своих заводах она в начале 2019 года оказалась в достаточно сложном положении. Оборот фирмы в I квартале 2019 г. составил 211,54 млрд USD, что на 8 млрд меньше по сравнению с 2018 годом.

В середине 2019 года на рынке появился процессор AMD Ryzen™ Zen 2, совместимый с ядром x86, составивший очень серьёзную конкуренцию процессорам Intel в классе массовых процессоров для настольных ПК при работе в одно- и многопоточном режимах.

В качестве новогоднего подарка в декабре 2019 года Intel купила себе за 2 млрд USD израильскую компанию Habana Labs, разрабатывающую нейрочипы для систем искусственного интеллекта [38].

Кроме всего прочего, давний и надёжный партнёр Intel корпорация Apple объявила, что с 2020 года в своих новых моделях компьютеров Macintosh будет использовать процессоры собственной разработки M1 вместо процессоров архитектуры Intel x86 [39].

В том же 2019 году была достигнута договоренность о продаже бизнеса Intel, связанного с разработкой и производством беспроводных встраиваемых модемов концерну Apple за 1 млрд USD. Эти активы включают основные патенты и производственные мощности, которые обслуживает более 2 тысяч человек [40, 41].

У корпорации Intel достаточно неплохо складывались дела в годы пандемии в Китае. В 2020 году 26% оборота корпорация Intel получила за счёт своих китайских клиентов [42].

Однако у Intel в Китае есть и достаточно серьёзные конкуренты. Наибольшую угрозу на рынках этого региона представляют самопровозглашённое независимое китайское отделение ARM China

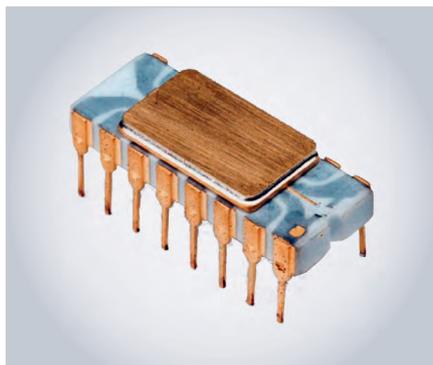


Рис. 8. Первый в мире коммерческий микропроцессор Intel 4004, выпущенный в массовую продажу в 1971 году [36]

[43], а также концерн Huawei, продемонстрировавший недавно свой новый 8-ядерный процессор Kirin 9006С, изготовленный по 5-нм технологии [44].

Так же, как и все остальные фирмы мира, Intel почувствовала влияние пандемии COVID-19 на свой бизнес в I квартале 2020 года.

В начале года упал спрос на автомобильные ПЭК, а к весне резко вырос спрос на всю продукцию Intel. Производственных мощностей Intel явно не хватало для удовлетворения всех заказов. Сроки поставок на некоторые комплектующие превысили 12 недель. С другой стороны, одновременно росли и доходы фирмы, порождённые возникшим дефицитом ПЭК (рис. 9). В 2019 году Intel получила доход на 1,6% больше, чем в 2018, а в 2020 году прирост доходов составил 8,2%.

В целом в период пандемии Intel укрепила своё финансовое положение. В качестве примера в табл. 9 приведены результаты продаж Intel за III квартал 2021 и 2020 гг. [46].

Литература

1. URL: <https://www. Kearney.com/communications-media-technology/article/?/a/europes-urgent-need-to-invest-in-a-leading-edge-semiconductor-ecosystem>.
2. URL: <https://companiesmarketcap.com/apple/marketcap/>.
3. URL: <https://companiesmarketcap.com/samsung/marketcap/>.
4. URL: https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/2021_Half_Year_Report.pdf.
5. URL: <https://companiesmarketcap.com>.
6. URL: https://finance.yahoo.com/quote/BC94.L?p=BC94.L&ncid=yahooproperties_peoplealso_km0o32z3jzm.
7. URL: https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/2020_Business_Report.pdf.

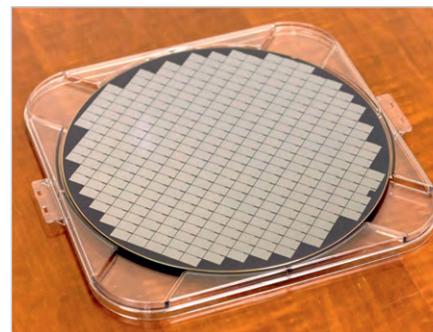


Рис. 9. Заготовка пластины 300 мм с технологией 14-нм на заводе Intel Fab 12

Таблица 9. Результаты продаж Intel за III квартал 2021 и 2020 гг. [46]

Отчётность в соответствии с GAAP*	QIII 2021	QIII 2020
Доход, млрд USD (Revenue)	19,2	18,3
Валовая прибыль, % (Gross Margin)	56,00	53,10
НИОКР, млрд USD (R&D)	5,5	4,7
Маржа операционной прибыли, % (Operating Margin)	27,20	27,60
Ставка налога, % (Tax Rate)	0,50	15,20
Чистая прибыль, млрд USD (Net Income)	6,8	4,3
Прибыль на акцию (Earnings Per Share)	1,67	1,02

*GAAP – отчётность в соответствии с нормативами США – Generally Accepted Accounting Principles in the USA.

8. URL: <https://www.londonstockexchange.com/stock/SMSN/samsung-electronics-co-ltd-att/company-page>.
9. URL: https://secure.energyandcapital.com/353096?device=c&gclid=Cj0KCQiAubmPBhCyARIsAJWNpiND4dQnvoSK0nZsqHVUD4xFybXrK82P6M10ldLXQrcGEN1TmDVwNhkaAmSAELw_wcB.
10. URL: <https://finance.naver.com/item/main.nhn?code=005935>.
11. URL: <https://www.samsung.com/sec>.
12. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Samsung>.
13. URL: <https://realnoevremya.ru/articles/131855-istoriya-brenda-samsung>.
14. URL: <https://www.britannica.com/topic/Samsung-Electronics>.
15. URL: <https://www.samsung.com/sec>.
16. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-expands-its-foundry-capacity-with-a-new-production-line-in-pyeongtaek-korea>.
17. URL: https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/2021_Half_Year_Report.pdf.
18. URL: https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/2021_3Q_conference_eng.pdf.

19. URL: https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/2020_con_quarter01_all.pdf.
20. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-announces-fourth-quarter-and-fy-2021-results>.
21. URL: <https://www.samsung.com/global/ir/governance-csr/general-meeting-of-shareholders/>.
22. URL: <https://samsungsemiconductor-us.com/slsi/>.
23. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-successfully-completes-8nm-rf-solution-development-to-strengthen-5g-communications-chip-solutions>.
24. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-begins-mass-production-of-16gb-lpddr5-dram-at-worlds-largest-semiconductor-line>.
25. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-demonstrates-the-worlds-first-mram-based-in-memory-computing>.
26. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-bespoke-jet-delivers-end-to-end-cleaning-with-an-all-in-one-cleaning-station>.
27. URL: <https://news.samsung.com/global/innovation-galaxy-unpacked-2022-the-new-epic-standard-of-smartphone-experiences>.
28. URL: <https://news.samsung.com/global/a-decade-in-the-making-how-samsung-foldables-are-defining-the-future-of-smartphone-innovation>.
29. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-foundry-innovations-power-the-future-of-big-data-ai-ml-and-smart-connected-devices>.
30. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-to-boost-investment-in-logic-chip-businesses-to-krw-171-trillion-by-2030>.
31. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-announces-new-advanced-semiconductor-fab-site-in-taylor-texas>.
32. URL: https://www.samsung.com/us/sas/News/Detail/202111230901001_News_2021FabExpansion.
33. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Intel_manufacturing_sites.
34. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Intel#:~:text=Intel%20was%20founded%20in%20Mountain,board%20from%20an%20early%20stage>.
35. URL: <https://csimarket.com/stocks/competitionSEG2.php?code=INTC>.
36. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/intel-marks-50th-anniversary-4004>.
37. URL: <https://bookauthority.org/books/best-intel-company-history-books>.
38. URL: <https://habana.ai/about-us/>.
39. URL: <https://www.macrumors.com/guide/m1/>.
40. URL: <https://mashable.com/article/apple-intel-modems-acquisition-iphone>.
41. URL: <https://inf.news/en/tech/1cc1a4de80fba1ac5db58f641c883e8d.html>.
42. URL: <https://www.reuters.com/article/intel-huawei-idINKCN26D013>.
43. URL: <https://russianelectronics.ru/arm/>.
44. URL: <https://www.notebookcheck.net/Huawei-Qingyun-L420-with-5-nm-Kirin-9006C-SoC-turns-up-as-the-incoming-successor-to-the-ARM-based-L410-laptop.582694.0.html>.
45. URL: <https://companiesmarketcap.com/intel/revenue>.
46. URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/intel-reports-third-quarter-2021-financial-results/>.



НОВОСТИ МИРА

Возможно утверждение национального проекта для развития микроэлектронной промышленности

Заместители председателя правительства России Дмитрий Чернышенко и Юрий Борисов по ВКС провели стратегическую конференцию с представителями отрасли по развитию отечественной радиоэлектронной промышленности, сообщается на сайте правительства в субботу.

Основная тема мероприятия – развитие спроса на российскую электронику и выработка новых мер поддержки отрасли.

По мнению Юрия Борисова, отдельным приоритетным направлением в развитии микроэлектроники является переход объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) на импортонезависимые отечественные программно-аппаратные решения. Борисов рассказал, что в настоящее время задача обеспечения технологической независимости решена только в отдельных сегментах рынка и этого недостаточно. Задачи по поэтапному переводу оборудования на отечественные решения уже поставлены в отраслях ТЭК, ведётся мониторинг их реализации. По срокам перехода объектов остальных сфер в ближайшее время решения будут приняты.

За последние два года в отрасли микроэлектроники сделано больше, чем за послед-

ние 25 лет. И в этом очень большая заслуга председателя Правительства Российской Федерации, благодаря усилиям которого удалось убедить всех в важности этой отрасли и необходимости серьёзно вкладываться в её развитие. Но в условиях цифровой трансформации задержка с принятием дальнейших мер по обеспечению развития микроэлектроники приведёт к деградации отрасли, вынужденным закупкам в рамках национальных проектов импортных цифровых платформ и оборудования и, как следствие, утрате технологического суверенитета страны. А цифровая трансформация КИИ на импортной элементной базе вообще угрожает национальной безопасности. И наша задача – этого не допустить, – сказал Юрий Борисов.

Дмитрий Чернышенко отметил, что в прошлом году правительство совместно с Общественным экспертным советом запустило работу по разработке и внедрению комплекса мер поддержки отрасли. Стартовала реализация сквозных проектов с субсидированием до 4 миллиардов рублей в год для компенсации затрат на закупку и внедрение российской радиоэлектронной продукции, что позволяет запустить производство новых конкурентных изделий.

Совет в прошлом году рассмотрел 19 проектов, 8 из них на общую сумму 147 миллиардов рублей уже одобрены. Ещё 51 проект на сумму более 360 миллиардов нахо-

дится сейчас в работе, сказал Чернышенко.

В мероприятии приняли участие министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Максют Шадаев, министр промышленности и торговли Денис Мантуров, генеральный директор и председатель правления ОАО «Российские железные дороги» Олег Белозёров, президент ПАО «Ростелеком» Михаил Осеевский, первый заместитель председателя правления ПАО «Сбербанк» Александр Ведяхин, генеральный директор группы компаний «Яндекс» Аркадий Волож, генеральный директор ПАО «КАМАЗ» Сергей Когогин, представители федеральных министерств и ведомств, Администрации Президента, около 100 компаний – разработчиков и производителей радиоэлектроники, институтов и научных центров, а также потенциальные заказчики, общественники и эксперты, всего около 300 участников.

Участники, разделённые на 19 тематических групп (навигационные приборы, медицинская электроника, интеллектуальные транспортные системы, программно-аппаратные комплексы в сфере искусственного интеллекта и больших данных и т.д.), на протяжении шести недель будут формировать свои предложения по дальнейшему развитию отечественной электронной промышленности. Эти предложения будут оглашены на четырёх стратегических сессиях, сообщило правительство.

industry-hunter.com

Инновационные способы соединения печатных плат СВЧ

Кива Джурицкий (kbd.istok@mail.ru)

Рассмотрены инновационные способы соединения печатных плат СВЧ зарубежных компаний Radiall (Франция) и SV Microwave/Amphenol (США). Показаны особенности соединения печатных плат с применением стандартного и сверхминиатюрного адаптеров «bullet», а также с использованием ультраминиатюрных соединителей IMP и IMP-LP.

Введение

При создании многофункциональных устройств диапазона СВЧ с печатными платами, изготовленными по технологии поверхностного монтажа (SMT – Surface Mount Technology), необходимо обеспечить эффективное электрическое соединение этих плат между собой. Применяемые для этого радиочастотные соединители, устанавливаемые на платах (платные соединители), также должны иметь исполнение SMT.

Проще всего было бы решить эту задачу, применив соединители вилка, установленные на одной плате, соединители розетка – на противоположной плате и соединяющие их кабельные сборки. Но с повышением рабочего диапазона частот и возрастанием требований к миниатюризации устройств это решение зачастую становится неприемлемым.

Для решения этой задачи компанией Gilbert Corning (США) было предложено соединение между собой однотипных соединителей, обычно вилка, установленных на каждой из плат, при помощи адаптеров розетка-розетка, называемых «bullet» [1]. Дальнейшие работы зарубежных компаний были направлены на совершенствование этого соединения:

- максимально возможное уменьшение расстояния между соединяемыми

ми платами путём уменьшения высоты адаптеров «bullet» [2];

- создание соединителей для поверхностного монтажа, вообще исключая применение адаптеров «bullet» [1–3];
- разработку соединения, исключая необходимость пайки соединителя на поверхность печатной платы [4];
- повышение предельной частоты соединителей для поверхностного монтажа.

Компания Radiall (Франция) – один из мировых лидеров в области радиочастотных соединений – создала для этой цели серию межплатных соединителей MMP (Micro Miniature Pressure Contact – микроминиатюрный прессирующий контакт).

Соединение плат СВЧ с применением стандартного адаптера «bullet»

Соединение двух плат СВЧ состоит из вилок, установленных на каждой соединяемой печатной плате, и сочленённых с ними защёлкиванием или скольжением стандартных (например, длиной не менее 6,5 мм для соединителей SMP) адаптеров розетка-розетка «bullet». В процессе соединения плат центральные проводники вилок входят в кантовые контакты адаптеров «bullet». При этом вилки, установ-

ленные на одной плате, обеспечивают полное или ограниченное защёлкивание, а на другой плате – скользящее соединение с адаптерами «bullet». Так как вилки с защёлкиванием удерживают адаптеры «bullet», при рассоединении плат эти адаптеры остаются на плате с этими вилками. Вилки со скользящим соединением позволяют легко рассоединять платы даже без применения специального инструмента.

Для монтажа на печатные платы используют вилки и адаптеры «bullet» миниатюрных и микроминиатюрных соединителей (с предельной частотой, ГГц) типов SMB (4), MCX (6), MMCX (6), SMP-MAX (6), IMP (6), UMP (6), P-SMP (10), MMBX (12,4), SMP (26,5), SMPM (40). Рис. 1 иллюстрирует стандартное соединение печатных плат.

Требуемое расстояние между платами достигается применением адаптера «bullet» необходимой длины. Адаптер «bullet» обеспечивает надёжное соединение и компенсирует радиальную и осевую несоосности соединителей вилка, установленных на печатных платах.

Соединение печатных плат с применением сверхминиатюрного адаптера «bullet»

В связи с миниатюризацией изделий СВЧ и повышением плотности их компоновки необходимо было мак-



Рис. 1. Соединение печатных плат при помощи адаптеров «bullet» (а), сочетание соединителей SMPM (б): 1 – вилка с защёлкиванием, 2 – адаптер розетка-розетка «bullet», 3 – вилка для скользящего соединения

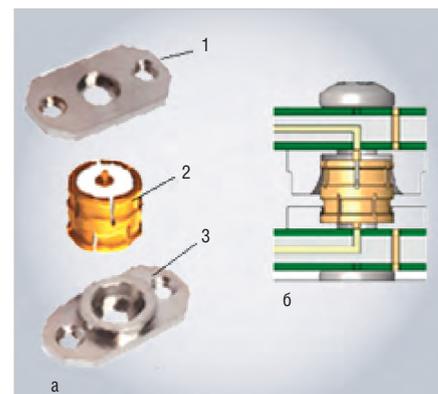


Рис. 2. Соединение печатных плат с помощью адаптера «bullet» вилка-вилка: а) 1 – «shroud» с интерфейсом «полное защёлкивание», 2 – «bullet» вилка-вилка, 3 – «shroud» с интерфейсом «скользящее соединение», б) печатные платы после соединения

симально уменьшить длину адаптера «bullet». Одним из самых миниатюрных является адаптер «bullet» вилка-вилка соединителей типа SMPM компании SV Microwave/Amphenol [2]. Длина корпуса этого адаптера 2,48 мм, и он обеспечивает соединение плат, отстоящих друг от друга на расстояние всего 3 мм. Соединение печатных плат с помощью адаптера «bullet» вилка-вилка показано на рис. 2.

На печатные платы устанавливают корпус из нержавеющей стали, имитирующие интерфейсы полного защёлкивания и скользящего соединения, называемые «shroud», с резьбовыми отверстиями для крепления винтами на печатные платы. При соединении плат центральные проводники адаптера «bullet» непосредственно контактируют с микрополосковыми линиями печатных плат. Скользящее соединение обеспечивает лёгкое рассоединение плат без применения специального инструмента. Поэтому при рассоединении плат адаптер «bullet» остаётся на плате соединённым со «shroud» с интерфейсом полное защёлкивание.

Это соединение имеет следующие параметры: рабочий диапазон частот 0...40 ГГц, КСВН в диапазоне частот 0...18 ГГц – 1,10, в диапазоне частот 18...40 ГГц – 1,30; прямые потери 0,30 дБ на частоте 18 ГГц и 0,60 дБ на частоте 40 ГГц [2].

Соединители IMP

В начале 2000-х годов компания Radiall запатентовала конструкцию ультраминиатюрных соединителей IMP (Interconnected Micro Miniature Pressure Contact) с нажимными пружинными контактами для непосредственного соединения печатных плат без применения адаптеров [3, 4]. Соединители R107064070 обеспечивают соединение плат с расстоянием между ними 2 мм, а соединители R107064920 – с расстоянием 3 мм. Соединение печатных плат с помощью этих соединителей иллюстрирует рис. 3 [3].

Один соединитель IMP заменяет две вилки, установленные на печатной плате, и соединяющий их адаптер «bullet». Необходимо отметить, что соединитель IMP самостоятельно не обеспечивает точное расстояние между соединяемыми платами. Для этого потребитель должен применить спейсер (прокладку соответствующей толщины).

Конструкция и внешний вид соединителей R107064070 и R107064920 показаны на рис. 4 и 5.

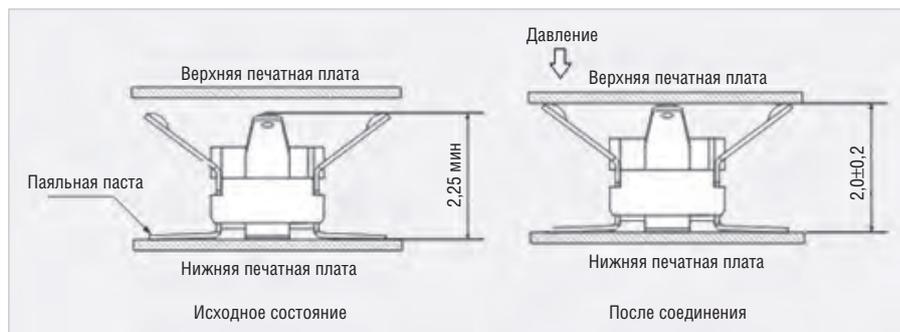


Рис. 3. Соединение печатных плат с помощью соединителей IMP

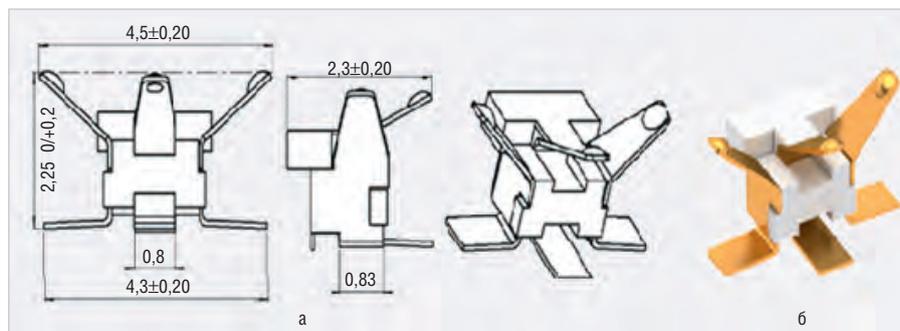


Рис. 4. Соединитель R107064070: конструкция (а) и внешний вид (б)

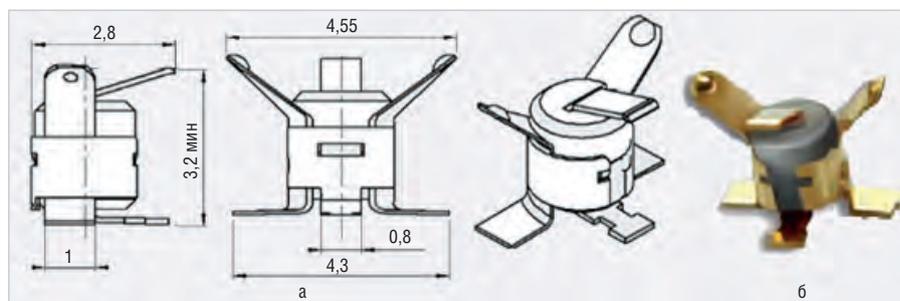


Рис. 5. Соединитель R107064920: конструкция (а) и внешний вид (б)

Корпуса соединителей и центральный контакт изготовлены из термоупрочнённой бериллиевой бронзы и покрыты золотом толщиной 0,5 мкм по подслою никеля толщиной 2 мкм. Материал изолятора соединителей – фторопласты PTFE или РЕЕК.

Установка соединителей на печатную плату осуществляется низкотемпературной пайкой. Соединители IMP адаптированы к автоматизированным процессам установки на печатные платы и пайки. Пайку соединителей на печатную плату рекомендуется выполнять с применением паяльной пасты, состоящей из припоя SnAg4Cu0.5 и флюса с низким содержанием остатков после пайки. В зону пайки на печатной плате паяльную пасту толщиной 150 мкм наносят трафаретной печатью. Максимальная пиковая температура пайки 260°C, время выдержки при этой температуре 10 секунд. При соединении допускается аксиальное смеще-

ние соединителя до $\pm 0,2$ мм и радиальное смещение до 0,2 мм. Соединители поставляют партиями 100, 600, 2500 или 3500 штук, упакованными в ленту, намотанную на катушку.

Основные технические характеристики соединителей IMP приведены в таблице.

Допустимая пропускаемая мощность этих соединителей на частоте 3 ГГц при температуре 20°C на уровне моря равна 20 Вт.

Основное применение соединителей IMP – соединения типов «плата-плата» и «плата-антенна» в устройствах беспроводной связи, мобильных телефонах, GPS-приёмниках и др.

Соединители IMP-LP компании Radiall

Компания Radiall пошла ещё дальше, предложив способ соединения плат СВЧ, расположенных на очень близком расстоянии друг от друга

Таблицы

№	Параметры соединителей IMP-LP	Значение параметра соединителей:			
		R107064070	R107064920	R107802000	R107803000
1	Расстояние между соединяемыми платами, мм	2,0	3,0	1,41	2,85±0,18
2	Размеры соединителя, мм	2,25×2,8×4,5	2,8×3,2×4,55	∅3,9	∅3,9
3	Вес, г (±15%)	0,013	0,020	0,13	0,16
4	Волновое сопротивление, Ом	50			
5	Диапазон рабочих частот, ГГц	0...6		0...18	
6	Максимальный КСВН (в диапазоне частот, ГГц)	1,06 (0...3); 1,08 (3...16)		1,3 (0...12); 1,55 (12...18)	
7	Максимальная величина потерь (на частоте ГГц), дБ	0,12 (6)		0,25 (18)	
8	Рабочее напряжение, В	100		225	
9	Напряжение пробоя изоляции, В	250		500	
10	Сопротивление изоляции, МОм	3000		1000	
11	Рабочий диапазон температур, °С	-40...+90		-55...+125	
12	Минимальное количество соединений и рассоединений	20		50	
13	Минимальное осевое усилие соединения, Н	-		0,5	



Рис. 6. Внешний вид соединителя IMP-LP типа R107802000



Рис. 7. Конструкция соединителя IMP-LP типа R107802000

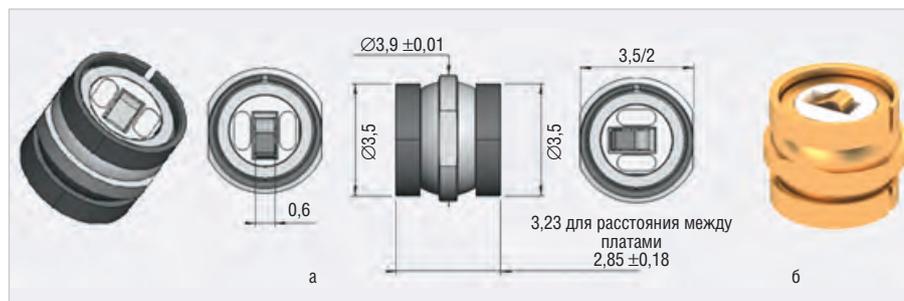


Рис. 8. Конструкция (а) и внешний вид (б) соединителя R107803000

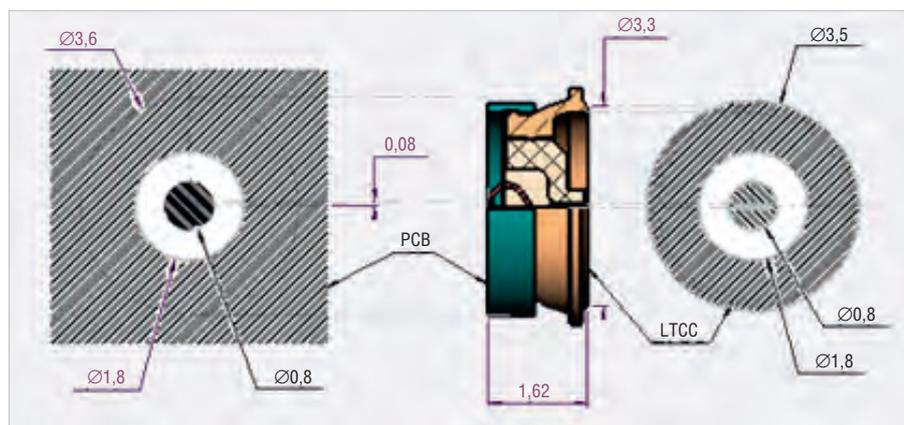


Рис. 9. Контактные площадки на печатных платах для R107803000

(1,41 мм), без применения адаптеров «bullet» и с установкой соединителей на платы без пайки. В 2019 году ею были созданы оригинальные ультраминиатюрные межплатные соединители IMP-LP (IMP/ Board to Board Connectors) двух модификаций: R107802000 и R107803000 с внутренними и внешними прижимными упругими (прессовыми) контактами [5–8]. IMP-LP (Interconnected Micro Miniature Pressure Contact. Low Profile) – это соединитель, заменяющий две вилки и адаптер «bullet». Внешний

вид соединителя R107802000 показан на рис. 6.

Конструкция (а) соединителя IMP-LP типа R107802000 показана на рис. 7.

Соединитель R107803000 является сдвоенным соединителем R107802000 в одном корпусе (Double IMP). Внешний вид и конструкция соединителя R107803000 показаны на рис. 8. Корпуса соединителей IMP-LP изготовлены из бронзы, центральный проводник выполнен из термоупрочнённой бериллиевой бронзы и покрыт золотом толщиной 1,3 мкм по подслою

никеля толщиной 2 мкм. Покрытие корпусов соединителей – NPGR (Nickel Phosphorous Gold Radiall) – слой немагнитного химического никеля с содержанием более 10% фосфора, на который нанесён тонкий слой золота для защиты от коррозии.

Материал изолятора РЕЕК – органический термопластичный полимер с частично кристаллической структурой (40%), в котором удачно сочетаются высокие механические свойства, химическая и радиационная стойкость, стабильность размеров и приемлемые диэлектрические свойства. На частоте 1 МГц диэлектрическая проницаемость РЕЕК равна 2,2...3,3, тангенс угла диэлектрических потерь – $(10...40) \cdot 10^{-4}$. В соединителях IMP-LP этот полимер применяют, по-видимому, благодаря возможности его литья под давлением. Фторопласт (PTFE) в этих микроминиатюрных соединителях было бы технически сложно применить, так как при нагревании этот полимер не переходит в вязко-текучее состояние, что исключает возможность его литья под давлением.

Соединение печатных плат с помощью соединителей IMP-LP состоит из следующих операций.

1. Подготовка соединяемых печатных плат PCB (Printed Circuit Board), заключающаяся в формировании на поверхности плат системы контактных площадок. На рис. 9 показаны контактные площадки на верхней печатной плате (PCB) и нижней печатной плате, изготовленной из низ-

котемпературной совместно обжигаемой керамики LTCC, для установки соединителя R107802000.

- Изготовление промежуточного элемента: держателя соединителей (Interposer/Holder IMP-LP), представляющего собой пластину из диэлектрического материала с системой отверстий, диаметры которых равны диаметру соединителей. Высота держателя обеспечивает выступание из него центрального контакта соединителей.
- В отверстия держателя, установленного на нижнюю печатную плату, размещают соединители – рис. 10.
- Подводят верхнюю печатную плату и прижимают её к сборке, надавливая на центральные контакты соединителей – рис. 11.

На рис. 12 показано соединение платы PCB с платой LTCC с помощью соединителя R107802000.

Параметры соединителей IMP-LP

Основные параметры соединителей IMP-LP приведены в табл. Этот микроминиатюрный соединитель диаметром 3,9 мм обеспечивает сверхнизкое расстояние между платами: 1,34 мм. Наименьшее осевое смещение расстояния от платы до платы составляет $\pm 0,1$ мм.

Соединители IMP-LP были квалифицированы для работы в сложных условиях MIL-AERO, где требуется устойчивость к вибрации и ударам, что позволяет их применять во встроённых системах радиолокации и радиоэлектронной борьбы. Предполагается, что соединители IMP-LP найдут применение в радарх, антенных устройствах и в приложениях, требующих миниатюрного соединения печатных плат.

Заключение

Необходимо отметить, что при установке на платах большого числа сое-

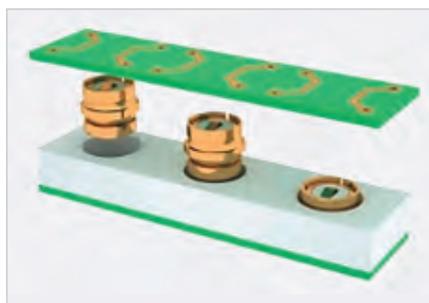


Рис. 10. Установка соединителей R107803000 в держателе

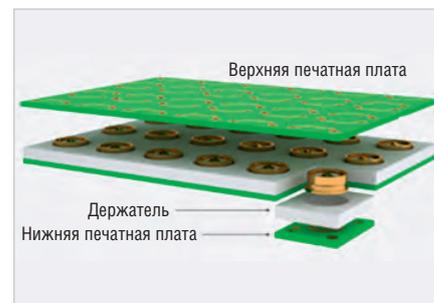


Рис. 11. Схема образования соединения плат с применением соединителей IMP-LP

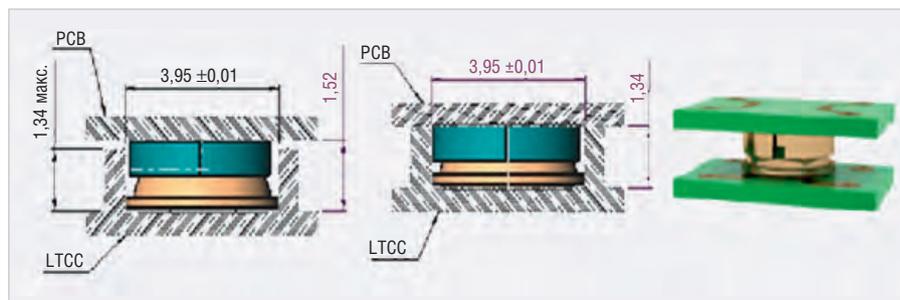


Рис. 12. Соединение платы PCB с платой LTCC с помощью соединителя типа R107802000

динителей с нажимными контактами достаточно сложно обеспечить надёжное контактирование соединяемых печатных плат. Для этого необходимо, чтобы соединители имели идентичные размеры контактов и их упругие свойства.

Зарубежные компании постоянно совершенствуют способы соединения печатных плат СВЧ с целью миниатюризации выпускаемых устройств и повышения технологичности их изготовления. С этой целью компании создают всё более миниатюрные соединители СВЧ, совершенствуют способы изготовления печатных плат и способы установки на них соединителей.

Литература

- Джуринский К.Б. Современные радиочастотные соединители и поме-

хоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит», 2014, 426 с.

- Джуринский К.Б. Новейшие достижения компании SV microwave/Amphenol в области радиочастотных соединений // Современная электроника. 2021. № 9.
- IMP / UMP series R107 // URL: <https://www.radiall.com>.
- Miscellaneous: BR2/Type 43/UHF/IMP/UMP // URL: <https://www.radiall.com>.
- IMP-LP_Handout_D1C177TE // URL: <https://www.radiall.com>.
- IMP / BOARD TO BOARD CONNECTOR 1.41MM – Radiall // URL: <https://www.radiall.com>.
- IMP / Board to Board Connector 1.41mm. SKU: R107802000 // URL: <https://shop.rojone.com>.
- URL: <https://b2b.partcommunity.com/3d-cad-models/r107802000-radiall>. ©

НОВОСТИ МИРА

В Южной Корее предложено использовать шёлк для «абсолютно надёжной» криптозащиты данных

Шёлк представляет собой физический объект, ряд характеристик которого невозможно копировать. С помощью объектов, обладающих таким свойством (physical unclonable functions, PUF), можно обеспечить практически непреодолимую криптозащиту данных.

Дело в особой структуре волокон. Дифракция света на разных участках шёлковой нити уникальна, поэтому свет будет преломляться по-своему на каждом из них. На то, чтобы взломать криптозащиту, искусственно воссоздав уникальную «световую подпись» одного участка шёлкового волокна, при нынешних возможностях компьютеров уйдёт не менее 5×10^{41} лет, подсчитали учёные.

Специалисты института также разработали и протестировали простой «шёлковый» считыватель и идентификационную карту, содержащую фрагмент волокна, которое служит ключом доступа. Показано, что шёлк в качестве PUF подходит для обеспечения практически абсолютной безопасности криптозащиты данных.

industry-hunter.com

Современные продукты компании Microchip. Особенности 8-разрядных микроконтроллеров

Юрий Петропавловский (г. Таганрог)

В статье рассмотрены особенности и приведены характеристики современных 8-разрядных микроконтроллеров компании Microchip, приведены структуры и состав семейств микроконтроллеров PIC18-Q10/Q40/Q41/Q43, PIC16F15244, AVR DA/DB.

Компания Microchip присутствует на рынке электронных компонентов в России с 1994 года, а её микроконтроллеры хорошо известны разработчикам и специалистам в области электроники в России и странах СНГ. Microchip является одной из немногих полупроводниковых компаний, имеющих центры технологической поддержки в России и странах СНГ, что способствует росту популярности её продукции у наших разработчиков электроники.

Компания Microchip Technology Inc. (г. Чандлер, Аризона, США) была образована в 1987 году в результате переименования подразделения микроэлектроники General Instrument Microelectronics (GIM) и отделения его в 1989 году от головной компании General Instrument (GI). Сама GI начала полупроводниковый бизнес после слияния в 1960 году с компанией General Transistor Corporation (GT).

GT в 1954 году основал 36-летний инженер Герман Фиалков (Герман Fialkov, 1922–2012 гг.). GT была в то время одной из немногих успешных технологических компаний, производящих транзисторы. Компания выпускала несколько типов германиевых транзисторов, например: GT-34N, GT-74, GT-81/82, GT-222 и ряд других, а также фототранзисторы GT-66 (впоследствии 2N318). Клиентами GT были такие известные компании, как Control Data, Raytheon, позже Cray.



Рис. 1. Стив Санги (Steve Sanghi)

С 1960 года полупроводниковые диоды и транзисторы уже под маркой GI стали выпускаться и на Тайване (на перевезённом заводе Rhode Island Factory). Г. Фиалков занимал на GI различные руководящие должности вплоть до своего ухода из компании в 1968 году. Впоследствии он выступал в качестве венчурного инвестора для высокотехнологических стартапов, в том числе для компаний Standard Microsystems, Microsemi Corporation, Intel, Teledyne, EIS International, DSP Group, OPAL и множества других. Во время работы в GI Г. Фиалков приступил и к освоению нового направления в электронике – микросхемотехники, в частности, к интеграции транзисторов GT в интегральные микросхемы.

В 70–80-х годах полупроводниковое подразделение GI выпускало разнообразную номенклатуру интегральных микросхем, в частности, микроконтроллеров с гарвардской архитектурой (PIC), микропроцессоров для игровых приставок, микросхем памяти (ROM, EEPROM), микросхем для управления цифровыми индикаторами и многие другие типы аналоговых и цифровых микросхем.

В середине 80-х годов GI с целью оптимизации доходов выделила и продала ряд малорентабельных подразделений, в том числе и GIM, впоследствии переименованное в Microchip Technology Inc. в 1989 году. После приобретения новой компании группой венчурных инвесторов она стала независимой. К началу 90-х годов компания в основном выпускала обычные ППЗУ и находилась не в лучшем финансовом состоянии, а фактически была близка к ликвидации. Кардинально положение компании стало меняться с приходом в 1990 году нового руководителя – Стива Санги (Steve Sanghi, рис. 1), сумевшего к 2006 году поднять Microchip на первую позицию в мире

по производству 8-разрядных микроконтроллеров.

Стив Санги – обладатель степеней бакалавра в области машиностроения колледжа штата Пенджаб (Индия) и магистра Массачусетского технологического института (MIT) – занимал руководящие должности в различных полупроводниковых компаниях, в том числе Intel и Waferscale Integration, а с 1993 года занимает руководящие посты в Microchip Technology.

Компания имеет официальные представительства в Москве и Санкт-Петербурге, на Украине и в Беларуси. Центр технической поддержки Microchip в России проводит технические семинары и тренинги, предоставляет статьи по применению продукции компании на русском языке, оказывает содействие в разработке изделий и получении образцов микросхем и отладочных плат. Компания выпускает широкую номенклатуру отладочных средств для поддержки разработок на PIC-микроконтроллерах, аналоговых и цифровых устройств, предлагает среду разработки MPLAB IDE, включающую бесплатное и многофункциональное ПО, редактор, ассемблер, линковщик, библиотеки и симулятор. Среда MPLAB IDE поддерживает различные компиляторы, программаторы и эмуляторы, в том числе выпускаемые компанией (PICkit2, ICD-2, ICD-3, REAL ICE). Разработчикам могут оказать существенную помощь бесплатные библиотеки условных графических обозначений и посадочных мест, включающие все предлагаемые Microchip микросхемы.

В каталогах Microchip последних лет представлена широчайшая номенклатура аналоговых и цифровых микросхем, микроконтроллеров, ПЛИС (FPGA и PLD), микросхем памяти, драйверов светодиодов, микросхем управления питания, датчиков и других электронных компонентов. Основные категории продуктов компании:

- 8-разрядные PIC[®] и AVR[®] микроконтроллеры, обеспечивающие решения для всего диапазона уровней производительности 8-разрядных МК. Компания предоставляет поддержку простых в использовании средств раз-

- работки, полную техническую документацию и пост-дизайн-поддержку;
- 16-разрядные PIC-микроконтроллеры PIC24 и цифровые сигнальные контроллеры dsPIC®;
- 32-разрядные PIC-микроконтроллеры высокой производительности;
- аналоговые устройства, в категорию которых входят микросхемы смешанных сигналов, микросхемы интерфейсов и микросхемы управления питанием;
- микросхемы для схем тактирования и синхронизации;
- ПЛИС (FPGA и PLD);
- микросхемы для высокоскоростных телекоммуникационных устройств;
- усилители и линейные устройства – ОУ и инструментальные усилители, компараторы, усилители с программируемым коэффициентом усиления (PGA), усилители с выбираемым усилением (SGA – Selectable Gain Amplifier), усилители датчиков тока;
- преобразователи данных – АЦП, ЦАП, цифровые потенциометры, источники образцового напряжения;
- микросхемы для систем безопасности – микросхемы для систем аутентификации семейства CryptoAuthentication™, микросхемы для устройств автомобильной безопасности семейства CryptoAutomotive™, модули доверенной безопасности и платформы (TPM – Trust Platform Modules) для обеспечения безопасности компьютеров и встраиваемых систем;
- микросхемы для беспроводных технологий – компоненты для встраиваемых Wi-Fi-систем, персональных зонных сетей, Bluetooth, систем безопасности и аутентификации; компоненты для беспроводных аудиоприложений: Wi-Fi Audio, Bluetooth Audio, Kleernet™ (до 8 каналов в системах домашнего кинотеатра; кабельные эквалайзеры, трансиверы и репитеры с поддержкой дистанции до 450 м и скоростей цифровых потоков до 3 Гбит/с и более; усилители мощности ВЧ, маломощные усилители и ряд других ВЧ-устройств);
- драйверы светодиодов и обратной подсветки ЖК-панелей;
- микросхемы памяти: последовательные ЭСППЗУ (EEPROM), последовательные ОЗУ (SRAM), последовательные и параллельные флэш ЗУ, микросхемы интеллектуального контроля памяти;

- микросхемы источников питания для линий Ethernet;
- датчики-детекторы угарного газа и дыма, усилители датчиков тока, мониторы мощности и тока.

В каталогах компании 2021/2022 годов представлено несколько семейств 8-разрядных микроконтроллеров с архитектурой PIC и AVR, в том числе новых семейств – PIC18-Q40, PIC18-Q41, AVR-DB, AVR-DA, PIC16F15244, PIC18-Q43. В состав семейств входят множество конкретных типов микросхем, а однотипные по функциям и характеристикам МК выпускаются в различных типах корпусов и с различным числом выводов. Это обстоятельство ставит перед разработчиками электроники задачу выбора нужных вариантов из сотен типов микроконтроллеров, предлагаемых компанией. И действительно, многие решения при разработке новой техники могут быть реализованы на самых разных типах МК, а на выбор нужных могут оказывать влияние такие факторы, как эксплуатационные характеристики, цена, возможность поставки, доступность отладочных плат, средств разработки и ПО.

Важным достоинством микроконтроллеров Microchip является преемственность и совместимость поколений продуктов, что позволяет легко и просто модернизировать существующие устройства путём простой замены МК на более усовершенствованные. При этом не требуется существенных изменений плат и конструкций модернизируемых устройств.

В группу 8-разрядных микроконтроллеров с гарвардской архитектурой PIC (Peripheral Interface Controller) входят следующие семейства микросхем: PIC18-Q10, PIC16F15244, PIC18-Q40, PIC18-Q41, PIC18-Q43. Отличительными особенностями микроконтроллеров PIC и цифровых сигнальных контроллеров (DSC) Microchip является хорошая преемственность различных семейств, включая программную совместимость, общие среды разработки, общие библиотеки, общие стеки наиболее популярных протоколов передачи данных, совместимость по выводам, по периферии, по напряжениям питания.

Микроконтроллеры семейства PIC18-Q10 хорошо подходят для широкого спектра систем промышленного управления, бытовых и автомобильных приложений, устройств для Интерне-

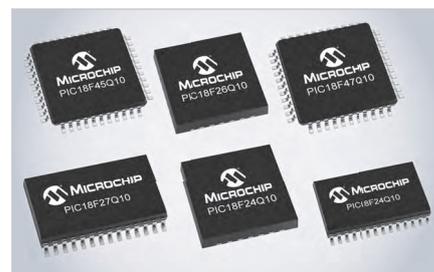


Рис. 2. Микроконтроллеры семейства PIC18-Q10

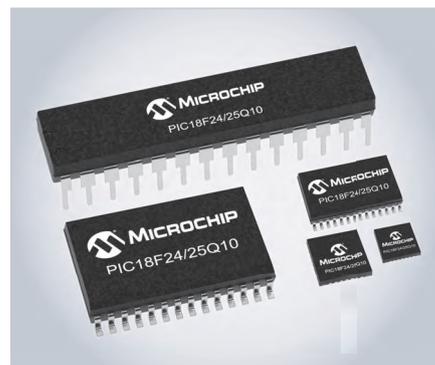


Рис. 3. Микроконтроллеры серий PIC18F24/25Q10

та вещей (IoT). Все микроконтроллеры семейства содержат полный набор ядерно-независимых периферийных устройств (CIP), обеспечивают циклическую проверку избыточности (CRC), сканирование памяти, имеют оконный сторожевой таймер (WWDT), аппаратный таймер ограничения (HLT) для использования в критически важных для безопасности приложениях. В каждый прибор также входят широтно-импульсный модулятор (ШИМ/PWM), несколько интерфейсов связи, аналого-цифровые преобразователи с вычислением (ADC2), встроенные компараторы и обнаружители перехода сигналов через ноль (ZCD).

В состав семейства PIC18-Q10 входят 7 серий микроконтроллеров, отличающихся объёмами программной памяти (16...128 КБ), оперативной памяти SRAM (1024...3615 Б), энергонезависимой памяти EEPROM, типом и числом выводов корпусов и рядом других характеристик. Внешний вид некоторых микроконтроллеров семейства показан на рис. 2, каждый тип микроконтроллера в различных сериях выпускается в нескольких типах корпусов. Например, микроконтроллеры PIC18F24/25Q10 могут выпускаться в пяти типах 28-выводных корпусов (рис. 3). Рассмотрим основные особенности и характеристики микроконтроллеров серий PIC18F26/45/46Q10 (в скобках соот-



Рис. 4. Структура микроконтроллеров серий PIC18F24/25Q10

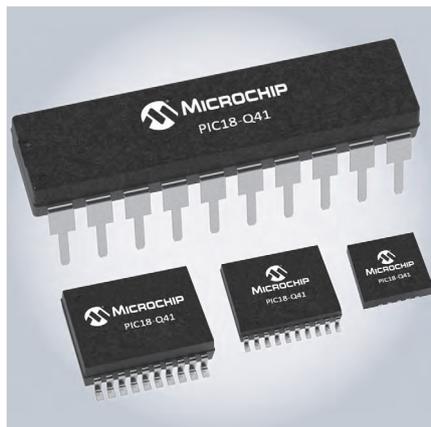


Рис. 5. Микроконтроллеры семейства PIC18-Q41



Рис. 6. Структура микроконтроллеров серии PIC18F04/05/06Q41



Рис. 7. Области применения микроконтроллеров

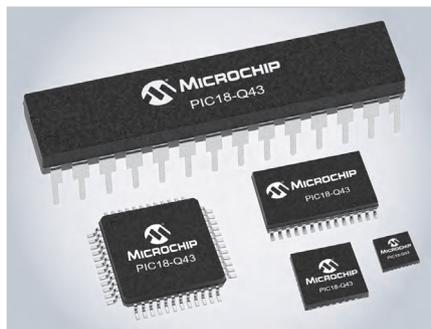


Рис. 8. Микроконтроллеры семейства PIC18-Q43

ветствующие характеристики приборов серий PIC18F24/25/27/47Q10):

- флэш-память программ 64/32/64 КБ (16/32/128/128 КБ);
- оперативная память данных SRAM 3615/2304/3615 Б (1280/2304/3615/3615 Б);
- энергонезависимая память EEPROM 1024/256/1024 Б (256/256/1024/1024 Б);
- число вводов/выводов I/O 25/36/36 (25/25/25/36);
- число 16-разрядных таймеров 4/4/4 (4/4/4/4);
- число компараторов 2/2/2 (2/2/2/2);

- число коммутируемых каналов 10-разрядного АЦП2 24/35/35 (24/24/24/36);
- 5-разрядные ЦАП и детекторы перехода через ноль (ZRC) 1/1/1 (1/1/1/1);
- 10-разрядные широтно-импульсные модуляторы с модулями захвата/срабатывания (CCP) 2/2/2 (2/2/2/2);
- управляемые сторожевые таймеры (CWG) 1/1/1 (1/1/1/1);
- конфигурируемые логические ячейки (CLC) 8/8/8 (0/0/8/8);
- низковольтные конфигурации (LVD) 1/1/1 (1/1/1/1);

- 8-разрядные таймеры/счётчики 3/3/3 (3/3/3/3);
- интерфейсы EUSART, 2/2/2, I²C 2/2/2, SPI 2/2/2;
- основные характеристики процессорного ядра: оптимизированная RISC-архитектура, тактовая частота 64 МГц;
- напряжение питания 1,8...5,5 В.

Упрощённая структура микроконтроллеров серий PIC18F24/25Q10 приведена на рис. 4. В состав процессорного ядра (Core) приборов входят: центральный процессор (CPU), сама программируемая флэш-память объёмом 16 КБ или 32 КБ (Self-programmable Flash Memory), оперативная память данных 1 КБ или 2 КБ (RAM), энергонезависимая память 256 Б (EEPROM) с возможностью до 100 000 перезаписей. Спящие режимы работы процессора (Sleep modes) – бездействие системы (Idle), ожидание (Standby), сниженное потребление (Power Down). Быстродействие процессора определяется тактовой частотой 64 МГц.

В общем виде периферийные устройства (Peripherals) микроконтроллеров серии обеспечивают системную гибкость (System Flexibility), коммуникации с внешними устройствами (Communications), подключение аналоговых устройств (Integrate Analog), генерацию сигналов различных типов (Waveform Generation), тайминг и измерения параметров сигналов (Timing and Measurements), безопасность и мониторинг (Safety and Monitoring).

В состав семейства PIC18-Q41 (рис. 5) входят шесть серий микроконтроллеров: PIC18F04/05/06Q41 в 14-выводных корпусах и PIC18F14/15/16Q41 в 20-выводных корпусах. Компания позиционирует их как высокопроизводительные микроконтроллеры, выполненные по технологии микропотребления (XLP) и предназначенные для усовершенствованных интерфейсов датчиков. Общая структура микроконтроллеров семейства и структура их периферийных устройств приведены на рис. 6. Как видно из рисунка, приборы этого семейства имеют значительное число одних и тех же составляющих, как и рассмотренные выше микроконтроллеры семейства PIC18-Q10. К основным отличиям и особенностям микроконтроллеров PIC18F06/16Q41 относятся:

- флэш-память программ 64/64 КБ;
- оперативная память данных 4096/4096 Б;

- энергонезависимая память EEPROM 512/512 Б;
- число вводов/выводов 12/18;
- число 8-разрядных таймеров 2/2, 16-разрядных 3/3;
- число 16-разрядных широтно-импульсных модуляторов 3/3;
- число каналов АЦП с вычислением (ADCC) 11/1, два 8-разрядных ЦАП;
- число конфигурируемых логических ячеек 4/4;
- интерфейсы I²C, SPI, UART.

Микроконтроллеры семейства можно использовать в системах управления общего назначения и в целевых приложениях, некоторые из них показаны на рис. 7. Кроме того, уникальное сочетание характеристик микроконтроллеров семейства PIC18-Q41 обуславливает их успешное применение в медицинских устройствах, особенно в таких приложениях, как узлы Интернета медицинских вещей (IoMT), устройства телемедицины, медицинские носимые устройства доставки лекарств и другие.

В состав семейства PIC18-Q43 (рис. 8) входят 9 серий микроконтроллеров в 28/40/44/48-выводных

PIC18-Q43 Family	
Аналоговые устройства	Генерация спецсигналов
12-бит АЦП с вычислениями	Компараторы генератора спецсигналов
Компараторы	Схемы захвата и сравнения ШИМ-сигналов
8-бит ЦАП	16-бит формирователь ШИМ-сигналов
Детектор перехода через ноль	Генератор с числовым управлением
Детектор порогов напряжений	Модулятор сигналов данных
Индикатор температуры	
Интерфейс пользователя	Тайминг и измерения
Аппаратные средства	8-/16-бит таймеры
Интерфейс пользователя	Сигнальный измерительный таймер
Память с прямым доступом	Логика и математика
Модуль отключения периферии	Настраиваемые логические ячейки
Выбор выводов периферии	Коммуникации
Системная гибкость	UART
CRC со сканированием памяти	I ² C / SPI
Оконный сторожевой таймер	
Таймеры с аппаратным ограничением	

Рис. 9. Структура микроконтроллеров семейства PIC18-Q43

корпусах, выполненных по технологии микрopotребления XLP. Состав периферийных устройств микроконтроллеров семейства показан на рис. 9, от приборов рассмотренного выше семейства PIC18-Q41 они отличаются характеристиками памяти и некоторыми другими параметрами. Основные характеристики микроконтроллеров PIC18F27/47/57Q43 (кроме характеристик, приведённых на рис. 9):

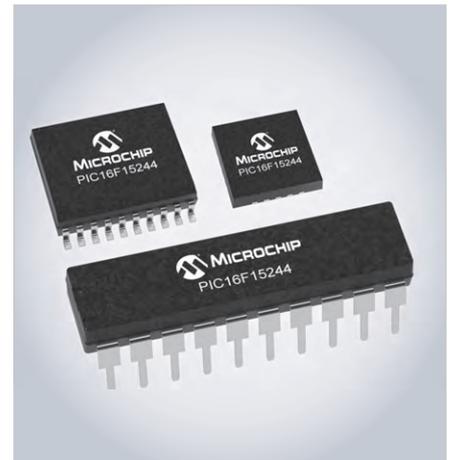


Рис. 10. Микроконтроллеры PIC16F15244

- флэш-память программ 128/128/128 КБ;
- оперативная память данных 8192/8192/8192 Б;
- энергонезависимая память EEPROM 1024/1024/1024 Б;
- число вводов/выводов 26/36/44;
- число каналов 12-разрядного АЦП с вычислением (ADCC) 24/35/43.

Полнофункциональные микроконтроллеры семейства PIC16F15244 в 8/14/20-выводных корпусах (рис. 10)



SCHAEFER

Источники питания AC/DC

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

Источники питания DC/DC

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

DC/AC-инверторы

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

AC/AC-преобразователи

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

Области применения

- Промышленная автоматизация
- Железнодорожный транспорт
- Испытательное оборудование
- Энергетика
- Нефтегазовая промышленность
- Ответственные применения

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



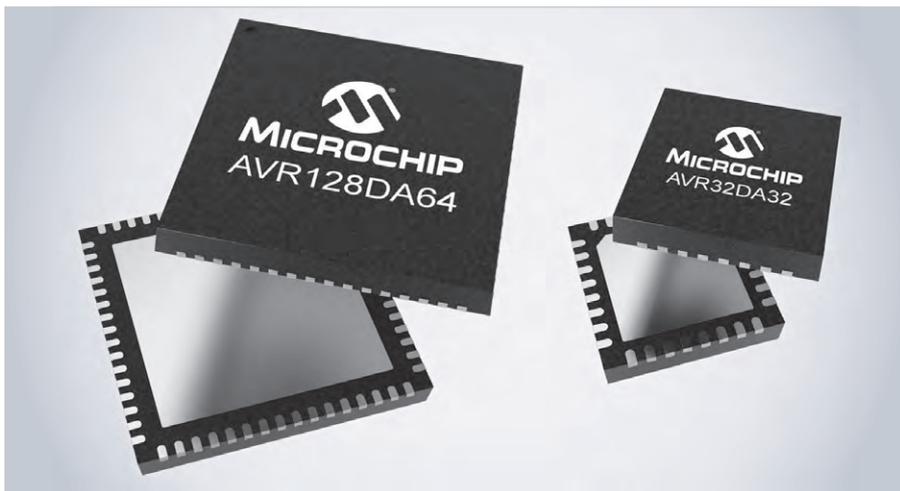


Рис. 11. Микроконтроллеры серии AVR-DA

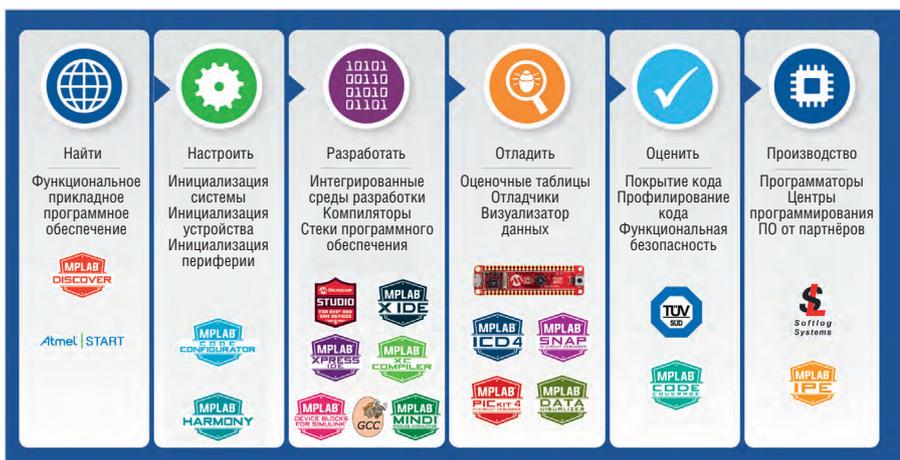


Рис. 13. Экосистема средств разработки

предназначены для экономичных проектов с ограничением пространства. В состав семейства входят 14 серий микроконтроллеров с набором простых и конкретных функций для реализации таких приложений, как устройства для контроля аккумуляторов, беспроводных датчиков, датчиков температуры, графических дисплеев, контроллеров входов/выходов, датчиков приближения (Proximity Sensor) и других относительно простых приложений.

В категорию AVR-микроконтроллеров компании входят семейства AVR® DA и AVR® DB. Под архитектурой AVR многие эксперты подразумевают усовершенствованную виртуальную RISC-архитектуру (Advanced Virtual RISC). Серийное производство первых AVR-микроконтроллеров начала в 1996/1997 годах компания Atmel, в 2016 году она была приобретена компанией Microchip Technology. Новые семейства микроконтроллеров Microchip AVR DA/DB/DD, представленные в 2020 году, пришли на смену пред-



Рис. 12. Структура микроконтроллеров AVR-DA

шественникам из семейства ATmega (в каталоге Microchip 2021/2022 годов фигурируют только AVR DA/DB).

По маркировке микроконтроллеров можно определить их некоторые характеристики, элементы маркировки AVR XX YY ZZ означают: XX – объём памяти в килобайтах, YY – семейство (DA/DB), ZZ – количество выводов корпуса (на рис. 11 показаны представители семейства DA).

Семейства AVR DA/DB состоят из 11 устройств, каждое из которых может быть выполнено в различных типах корпусов, основные характеристики микроконтроллеров AVR DA/DB (на рис. 12 – структура AVR128DA64):

- тактовая частота процессорного ядра 24/24 МГц;
- флэш-память программ 32...128 /32...128 КБ;
- оперативная память данных 4...512 /4...16 КБ;
- энергонезависимая память EEPROM 4...512/512 КБ.

В заключение отметим, что компания предоставляет обширную экосистему средств разработки (Development Tool Ecosystem, рис. 13), отладочные платы, программное обеспечение и другие материалы для разработчиков электронной техники на микроконтроллерах Microchip. ©

НОВОСТИ МИРА

«ПРОЕКТ ЛАГРАНЖ» ВЫПУСТИЛ НОВУЮ СИСТЕМУ НА МОДУЛЕ НА БАЗЕ ВАЙКАЛ-М

Дизайн-центр материнских плат «Проект Лагранж» успешно запустил производство нового модуля в форм-факторе COM Express Type 6 Compact на базе отечественного микропроцессора Вайкал-М. Габариты платы – 95×95 мм. Изготовлены первые инженерные

образцы. Начало серийного выпуска запланировано на апрель-май текущего года.

На модуле размещён разъем SO-DIMM для планки оперативной памяти, а также разъем M.2 с интерфейсом SATA для подключения SSD-накопителя. На основные интерфейсные разъемы AB и CD выведены линии PCIe 8x+4x+4x, 2xSATA, 2xGbE, HDMI, LVDS A/B, 4xUSB2.0, 2xUSB3.0, а так-

же UART, SPI, I2C, I2S. Один из интерфейсов SATA является коммутируемым между разъемом M.2 на модуле и интерфейсным разъемом несущей платы.

Сейчас дизайн-центр проводит проверку инженерных образцов, доработку встроенного ПО и подготовку к передаче на тестирование партнёрам.

baikalelectronics.ru

НОВОСТИ МИРА

**ПЕРЕБОИ С ПОСТАВКАМИ
из России**

По информации издания Reuters, администрация США призвала производителей микросхем готовиться к перебоим с поставками ключевых материалов для их изготовления из России: искать новых продавцов и диверсифицировать текущие цепочки поставок.

Это произошло после того, как группа Techset опубликовала отчёт, в котором была обозначена зависимость многих производителей полупроводников от большого количества чистых химических материалов российского и украинского происхождения, включая палладий, гелий, неон, фтор и скандий.

Например, в отчёте Techset указано, что 35% палладия в США поступают из РФ, а более 90% неона – из Украины, правда, туда он доставляется из России для проведения очистки.

Администрация США задумалась, что такие стратегические ресурсы могут быть недоступны американским производителям и другим компаниям по всему миру из-за геополитических разногласий и обратных санкций со стороны РФ после введения США со своей стороны ограничений на экспорт американских технологий, включая смартфоны и программные разработки.

Теперь Белый дом рекомендует своим производителям электроники и IT-компаниям искать другие источники ключевых материалов для производства полупроводников. Однако альтернативных источников таких элементов не так много, а большая часть из них находится в Китае или уже имеет очередь из клиентов на несколько лет вперёд.

Представители Ассоциации полупроводниковой промышленности в курсе ситуации и сейчас плотно занимаются её решением как с администрацией США, так и с компаниями – членами ассоциации.

Эксперты пояснили Reuters, что в любом случае эскалации проблема приведёт к дефициту данных компонентов, но производство полупроводников не будет остановлено. По их мнению, произойдёт значительный подъём цен на нужные компоненты, что повлияет на отрасль в общем и в особенности на цепочки поставок, которые станут также дороже и будут дольше обрабатываться. В итоге стоимость чипов возрастёт, хотя от этого выиграют больше всего их производители, включая Intel, Samsung, UMS, SMIC, GlobalFoundries и TSMC.

Ранее СМИ сообщили, что 12 февраля Минцифры и Минпромторг обсудили с рос-

сийскими производителями электроники риски введения технологических санкций против отечественной полупроводниковой отрасли.

20 января 2022 года зарубежные СМИ сообщили, что представители Ассоциации полупроводниковой промышленности обсуждают с администрацией США варианты экспортных ограничений микросхем в Россию. Ограничение может затронуть поставки чипов, компьютеров, бытовой электроники, телекоммуникационного оборудования и другого оборудования, произведённого в любой точке мира по американским технологиям. Эксперты рынка оценили, что потери доходов Apple, Samsung, Xiaomi и Realme в случае введения санкций в отношении России и запрета прямых поставок составят 760 млрд рублей (около \$10 млрд) в год.

В начале января СМИ рассказали, что «Сбер» провёл технологические учения по моделированию ситуаций с отключением IT-инфраструктуры банка от поддержки Microsoft, Nvidia, VMware, SAP, Oracle, Intel и других зарубежных вендоров. Финансовая организация сделала это в рамках тестового сценария на случай введения ограничений со стороны зарубежных партнёров.

ru-an.info

Тестирование электроники в эпоху миниатюризации



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

JTAG
TECHNOLOGIES




Более 25 лет в самом сердце электроники


Клиенты в более чем 50 странах


По всему миру продано более 10 000 систем


Более 2500 клиентов


Поддержка по всему миру

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



Загрузите нашу брошюру

Выберите подходящее оборудование для тестирования и контроля температуры аккумуляторных батарей

Бернард Энг (Keysight Technologies)

В современной электронной технике питание от аккумуляторных батарей используют практически все переносные электронные устройства. Батареи служат источником энергии также в системах бесперебойного питания в крупных стационарных электроустановках. Кроме того, все электромобили используют тяговые аккумуляторные батареи (АКБ) для питания электропривода.

АКБ должны обладать необходимой удельной мощностью (Вт/кг), чтобы иметь возможность выдавать ток, достаточный для достижения скоростных характеристик электромобиля. Им также требуется иметь высокую удельную энергию (Вт·ч/кг), необходимую для достижения большей продолжительности работы или дальности поездки.

Почему необходимо контролировать температуру АКБ?

Большинство современных АКБ используют литий-ионные элементы и имеют рабочий диапазон температур от +15 до +35°C, при котором обеспечиваются максимальная эффективность и ёмкость.

- Если батарея работает при температуре окружающей среды ниже +15°C, то в ней замедляются электрохимические реакции и, как следствие, ухудшаются её характеристики и уменьшается ёмкость.
- Если АКБ работают при температуре окружающей среды выше +35°C, то деградация элементов со временем может ускориться. В результате вы можете заметить сокращение срока службы батареи, неравномер-

ное старение элементов из-за перепадов температур, опасные отклонения характеристик и более высокую стоимость жизненного цикла. При экстремально высоких температурах батареи выходят из строя, что может сопровождаться утечкой электролита, задымлением, возгоранием и даже взрывом.

На приведённом на рис. 1 графике зависимости мощности от температуры показаны предельные значения мощности для литий-ионного элемента, модуля или батареи в диапазоне температур. Интервал от +15 до +35°C является оптимальным рабочим диапазоном, при котором АКБ достигают максимальной производительности. В этом диапазоне температур обеспечивается самая эффективная, надёжная и безопасная работа батарей.

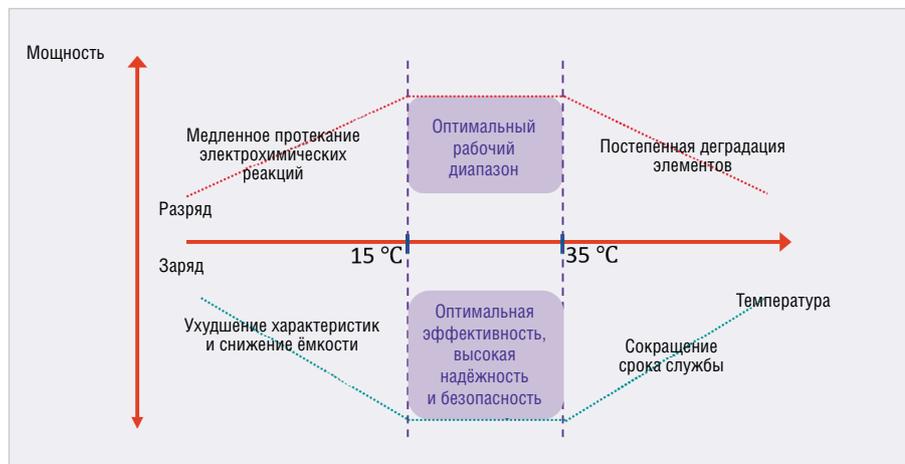


Рис. 1. График зависимости мощности от температуры показывает пределы мощности элемента или АКБ в диапазоне температур (источник: Kandler Smith, NREL milestone report, 2008)

Когда используют систему сбора данных для контроля температуры батареи

Система сбора данных (DAQ) является одним из самых универсальных инструментов для измерения температуры отдельного объекта или нескольких объектов. Система сбора данных может контролировать температуру в нескольких точках аккумуляторной батареи изделия. В процессе разработки изделия, как правило, сначала тестируются отдельные функциональные блоки схемы, а затем проверяются все блоки, интегрированные в схему. Лабораторное тестирование аккумуляторных батарей и систем питания проводится на ранних стадиях проектирования изделия с использованием нескольких стандартных лабораторных приборов.

Систему сбора данных можно использовать для контроля температуры в нескольких точках системы питания изделия. Также необходим источник питания постоянного тока для заряда и электронная нагрузка постоянного тока для разряда АКБ.

На рис. 2 показана общая схема измерений с системой сбора данных. Если у вас есть двухквadrанный источник питания постоянного тока, который может подавать и потреблять ток, то им можно заменить отдельный источник питания и электронную нагрузку постоянного тока.

На рис. 3 показан вид программного интерфейса ПО сбора данных для ПК, которое дополняет аппаратную систему сбора данных для повышения производительности. Используя такое приложение, можно быстро настроить и выполнить тесты и быстрее получить результаты. Многие прикладные программы для работы с данными на ПК позволяют графически создавать автоматизированные тесты, что значительно сокращает время разработки тестов. Программное обеспечение предоставляет графический интерфейс для интуитивно



Добивайтесь лучших результатов с KeysightCare

ПРОГРАММА РАСШИРЕННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

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

Служба технической поддержки KeysightCare

E-mail: keysightcare.russia@keysight.com

Тел.: 8-800-301-3884



KEYSIGHTCARE



понятной настройки прибора, создания последовательности измерений и взаимодействия с несколькими приборами, помогая вам создавать собственный полностью автоматизированный тест.

Показанное на рис. 3 программное обеспечение сбора данных позволяет:

- тестировать систему управления батареями (BMS) в ваших устройствах, изменяя параметры источника зарядного тока и электронной нагрузки, одновременно контролируя температуру и поведение АКБ;
- выполнять измерения температуры в множестве точек для оценки её изменения между аккумуляторами;
- задавать максимальные и минимальные предельные значения контролируемых температур, напряжений или токов, при выходе за которые подаются тревожных сигналы.

Когда используют специализированную систему тестирования АКБ для контроля температуры батареи

Высокая гибкость измерительной схемы на основе лабораторных контрольно-измерительных приборов позволяет быстро найти неисправность и тщательно проверить проектируемую систему аккумуляторного питания. Однако если необходимо провести всесторонние и надёжные тесты для предварительных и основных испытаний на соответствие стандартам, используется специализированная система тестирования АКБ, которая поставляется со специальным программным обеспечением для централизованного управления испытаниями.

Для обеспечения достоверных и точных испытаний аккумуляторных элементов, модулей или батарей необходима специализированная система

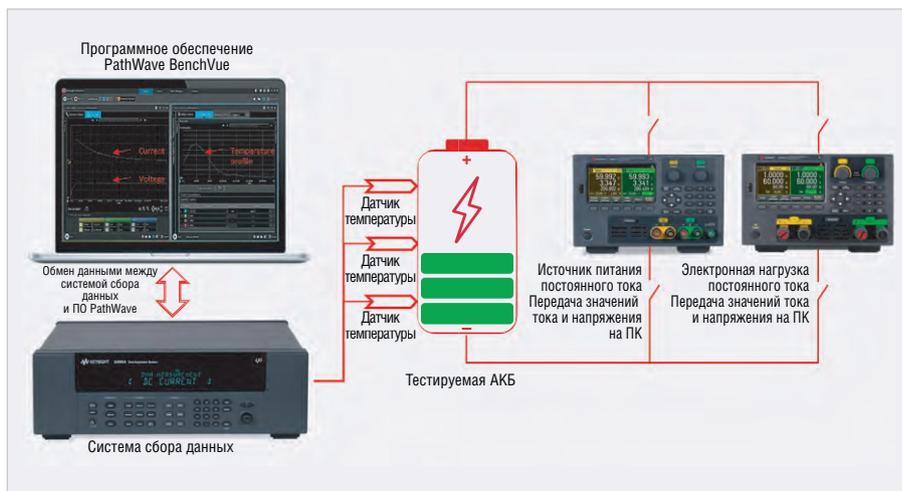


Рис. 2. Схема лабораторных измерений с системой сбора данных, источником питания постоянного тока и электронной нагрузкой постоянного тока

тестирования АКБ с надёжной поддержкой. Хорошая система тестирования батарей может выполнять настраиваемые параметрические и функциональные тесты, испытания старения и стойкости к факторам окружающей среды.

На рис. 4 показан пример специализированной системы тестирования батарей, которая масштабируется от отдельных автономных решений до полностью интегрированных испытательных систем и готовых к использованию испытательных лабораторий.

Показанная на рис. 4 система тестирования АКБ, например, масштабируется до 1000 В, ±2400 А и ±360 кВт. Масштабируемость — очень важный фактор для защиты инвестиций в контрольно-измерительное оборудование. Система тестирования батарей также должна быть гибкой и подходить для различных областей применения, таких как автомобильный транспорт, промышленное оборудование и другие крупные стационарные приложения.

Хорошая система тестирования батарей поставляется с интегрированными испытательными средами для вашего тестируемого устройства (ТУ), такими как температурные и климатические камеры, системы кондиционирования для ТУ и стандартизированные интерфейсные системы для лёгкой интеграции с вашим ТУ. Также важно иметь встроенные средства безопасности и защиты, которые помогут избежать потенциально опасных ситуаций.

Кроме того, необходимо программное обеспечение централизованного управления отдельными или несколькими полностью интегрированными системами тестирования батарей для испытаний элементов, модулей и АКБ. Хорошее программное обеспечение системы централизованного тестирования батарей на основе веб-технологий также позволяет:

- осуществлять управление и контроль всех компонентов в среде тестирования;



Рис. 3. Графический интерфейс программного обеспечения сбора данных Keysight PathWave BenchVue для ПК



Рис. 4. Система тестирования батарей Keysight серии Scienlab SL100XA

- настраивать процедуры тестирования с использованием предустановленных стандартных тестов;
- выполнять измерения с записью данных, дополненных меткой времени для синхронного анализа;
- обеспечивать полную визуализацию результатов измерений.

В конечном счёте ПО централизованного тестирования аккумуляторных батарей должно обеспечивать выполнение тестов на соответствие всем актуальным стандартам (напри-

мер, Международной организации по стандартизации (ISO), Немецкого института по стандартизации (DIN EN) и Общества инженеров автомобильной промышленности (SAE)).

Заключение

Контроль температуры батареи необходим на протяжении всего жизненного цикла системы питания. На ранних этапах проектирования изделия инженеры могут быстро устранить неполадки и проверить схемы

систем батарейного питания с помощью лабораторных приборов, таких как система сбора данных в сочетании с источником питания постоянного тока с режимами источника и потребителя тока. Специализированное решение для тестирования АКБ становится неоценимым помощником в обеспечении комплексного, надёжного и масштабируемого средства испытаний на этапах измерения характеристик и оценки жизненного цикла изделия.



Чтобы узнать больше о системах сбора данных для измерений температуры



Чтобы узнать больше об источниках питания постоянного тока



Дополнительная информация о системе тестирования АКБ Scienlab

The screenshot displays the homepage of the SOEL.RU website. At the top, there is a banner for KEYSIGHT TECHNOLOGIES with the text 'ЦСМ KEYSIGHT – МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА МИРОВОГО УРОВНЯ'. Below the banner, there are navigation tabs for 'ЖУРНАЛ', 'ПУБЛИКАЦИИ', 'НОВОСТИ', and 'ВИДЕО'. The main content area is divided into several sections: 'НОВОСТИ' (News) with articles about conferences and technical developments; 'СВЕЖИЙ НОМЕР' (New Issue) for the magazine 'СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА'; 'ПУБЛИКАЦИИ' (Publications) featuring articles on cloud market forecasts, 5G achievements, and automation technologies; 'ВИДЕО' (Video) with interviews and technical discussions; and 'ПОПУЛЯРНОЕ' (Popular) with a list of trending articles.

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

www.soel.ru

СТА-ПРЕСС – это современный медиахолдинг, выпускающий два научно-технических журнала, имеющий информационный интернет-портал, собственный YouTube-канал, конференционно-выставочное подразделение и свой дизайн-центр.

Наша миссия – способствовать отечественному техническому и технологическому прогрессу путём создания благоприятных условий сотрудничества и информационной поддержки участников рынка.

МНОГОМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО ВАШИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Единый согласованный канал связи с вашей аудиторией:

- Медиапорталы **SOEL.RU** и **CTA.RU**
- Популярный видеоконтент на YouTube-канале
- Присутствие в соцсетях
- Высококачественная полиграфия
- Собственная дизайн-студия
- Региональные конференции по промышленной автоматизации
- Квалифицированные авторы
- Заинтересованная аудитория
- Профессиональное понимание рынка

Всё это в вашем распоряжении!

Все новинки мира электроники и автоматизации на одном портале WWW.SOEL.RU. Читайте и обсуждайте статьи и новости бесплатно!

Если вы хотите стать нашим автором, присылайте ваши статьи для публикации! Авторам за опубликованные статьи выплачиваются гонорары.

Применение встроенных в микроконтроллер EFM8LB12 конфигурируемых логических элементов для прецизионного измерения временных интервалов

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

В статье описан пример применения встроенных в МК EFM8LB12 конфигурируемых логических элементов – Configurable Logic Unit (CLU) совместно с таймерами для измерения временных интервалов с погрешностью, не превышающей 0,2 мд. Сконфигурированная на CLU антидребезговая схема позволила подключить кнопку, задающую временной интервал, непосредственно к МК, а сконфигурированный Т-триггер – аппаратно соединить три таймера (Т3, Т4 и РСА-таймер) для получения 48-разрядного таймера, способного измерять время между двумя событиями в широком временном диапазоне и с высокой точностью. Приводится схема тестовой платы и программные средства для её работы.

Введение

При проведении различного рода измерений часто требуется определение времени, прошедшего между двумя событиями, с относительно высокой точностью. Вот простой пример: требуется измерить объём V газа или воды, прошедший через какой-либо измерительный прибор при известном (или измеренном) расходе Q за определённый интервал времени T . Объём V , как известно, вычисляется как $V = Q \times T$. Естественно, от точности измерения интервала времени T зависит точность определения объёма V . Для формирования интервала времени T могут использоваться различного типа коммутационные устройства (контактные или бесконтактные). При ручном управлении часто применяют кнопки, при некоторой автоматизации процесса в качестве коммутационных

устройств могут использоваться герконы. Например, в приборах, измеряющих объём газа (газовых счётчиках), при прохождении определённого объёма газа (к примеру, 1 м^3) замыкается геркон. В любом случае контактные коммутационные устройства обладают одним хорошо известным и неприятным свойством: дребезгом контактов. Если в измерительной системе используется относительно высокоскоростное устройство, например, микроконтроллер (МК), который должен сформировать определённое действие, скажем, по фронту сигнала, подключённого к какому-либо его порту, то прямое подключение кнопки к порту может привести к ложным срабатываниям, поскольку дребезжащие контакты сформируют не один фронт, а целый пакет импульсов, длящийся от долей мс до нескольких мс, в зависимости от свойств кнопки. Для исключения дребезга контактов применяют как программные, так и аппаратные средства.

Программные средства используют различного рода задержки с длительностью, заведомо превышающей длительность процесса дребезга контактов. Для формирования временных задержек часто используют встроенные в МК таймеры. Однако программные средства обладают существенным недостатком, так как требуют дополнительных ресурсов МК: необходимую работу процессора для выполнения подобной про-

граммы, увеличение памяти для её хранения, таймеров и т.п.

Что касается аппаратных средств, то для устранения дребезга контактов используют различного рода антидребезговые схемы. Они бывают двух типов. Схемы первого типа основаны на различного рода RC-цепочках, которые затягивают фронт сигнала на время, заведомо превышающее время дребезга (это в некотором смысле сродни программному способу). Обычно схемы такого типа используют микросхемы ждущих мультивибраторов. Схемы второго типа используют триггеры. Вот пример (рис. 1) старой, как мир, антидребезговой схемы на основе RS-триггера, построенного на двух логических элементах 2И-НЕ. При нажатии кнопки и первом же касании контакта триггер перебрасывается в противоположное состояние, и дальнейший дребезг контактов не приведёт к изменению состояния триггера. При этом на выходах триггера Q и \bar{Q} сформируются единственные фронт и срез соответственно. Если кнопку отпустить (или отжать, если она с фиксацией), то при размыкании контакта дребезг будет отсутствовать, а при первом же касании противоположного контакта триггер установится в исходное состояние, и на выходах Q и \bar{Q} сформируются единственные срез и фронт соответственно. Такая схема имеет существенное преимущество по сравнению со схемами первого типа, так как у таких схем для надёжности значительно удлиняют время задержки, что не всегда приемлемо. Недостаток аппаратных средств – необходимость использования самих этих средств (например, для схемы рис. 1 требуется микросхема 561ЛА7, подача на неё питания с положенными по штату конденсаторами и два резистора). Хотя стоимость этих средств и невелика, однако место, занимаемое ими на плате, на порядок больше места, занимаемого корпусом МК ($4 \times 4 \text{ мм}$ – QFN32, и ещё меньше ($3 \times 3 \text{ мм}$) – QFN24

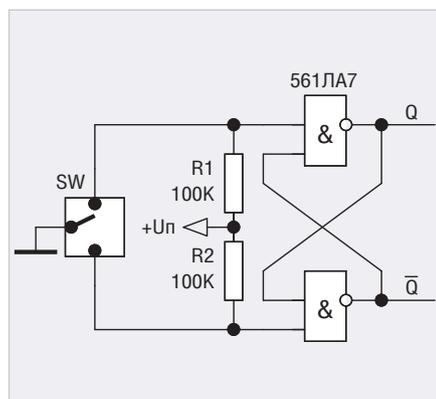


Рис. 1. Антидребезговая схема на RS-триггере

у МК EFM8LB12). А увеличение площади платы на порядок приводит к такому же повышению её стоимости; кроме того, больший размер платы требует соответствующего увеличения размера корпуса под неё, что также увеличивает стоимость устройства.

Избежать подобных аппаратных и вышеупомянутых программных средств позволяет одно интересное новшество, которое в последнее время стали вводить в состав МК. Речь идёт о встроенных в МК конфигурируемых логических элементах – Configurable Logic Unit, сокращённо CLU. Такие CLU работают абсолютно автономно, совершенно не требуют участия процессора МК и, кроме того, могут даже обходиться вообще без тактирования, т.е. работать в асинхронном режиме.

Помимо CLU, в состав МК включают таймеры, обладающие новыми свойствами. Например, в МК EFM8LB12 имеются два таймера (Т3 и Т4), которые можно включить один за другим и получить из двух 16-разрядных таймеров один 32-разрядный; его с успехом можно применить для измерения временных интервалов (см. выше).

Информация об особенностях CLU крайне скудна. Что в руководстве пользователя МК EFM8LB12 [1], что в примере применения CLU [2] не описаны даже все функции CLU, не говоря уже о способах их применения и особенностях. Кроме того, путём экспериментов автором обнаружено несколько багов при совместной работе CLU и таймеров. Поэтому для того, чтобы было понятно дальнейшее изложение, ниже в кратком виде приводятся все функции CLU и особенности их применения при совместной работе с таймерами.

Итак, в МК EFM8LB12 имеются четыре CLU: CLU0, CLU1, CLU2 и CLU3. Каждый CLU имеет 3 входа: А, В и С – и один выход. Входы А и В – стандартные логические входы (как, например, два стандартных входа у 561ЛА7 – рис. 1), а вход С – дополнительный вход переноса (carry) с выхода предыдущего CLU. Например, вход С CLU1 – это выход CLU0, вход С CLU0 – выход CLU3 и т.п., т.е. они как бы расположены по кругу. Функции каждого CLU – основные функции логических элементов: И (AND), ИЛИ (OR), исключающее ИЛИ (XOR) и НЕ (NOT). Записываются функции следующими значками: «&» – И, «|» – ИЛИ, «^» – исключающее ИЛИ, «~» – НЕ. Кроме того, используются значки скобок «(», «)» и символы «А», «В» и «С».

Например, чтобы получить один логический элемент 2И-НЕ, как, например, в 561ЛА7 (рис. 1), необходимо записать: «~(А & В)». При этом соответствующий CLU будет выполнять эту функцию, а перенос С учитываться не будет (поскольку С в выражение не входит). Входы каждого CLU можно подключить: к внешним выводам (портам) МК (их, правда, ограниченное количество), к выходу этого же либо другого CLU, к выходам таймеров (например, Т3, Т4). Выходы каждого CLU можно вывести на внешние выводы МК (порты) напрямую (автономный или асинхронный режим работы), причём для каждого выхода CLU существует один-единственный порт, изменить который нельзя. Например, для выхода CLU2 предусмотрен порт P2.2, а для выхода CLU3 – порт P2.5 (для EFM8LB12-QFN32). Кроме того, выходы каждого CLU можно подключить ко входу данных (D) встроенного D-триггера, который может тактироваться по входу С либо системной тактовой частотой (SYSCLK), либо таймером (ALTCLK), а выход Q этого триггера уже подключить к внешнему порту. Этот режим называется (в описании МК) синхронным.

По поводу таймеров. Входы (тактирование) таймеров (Т2...Т5) можно подключить (в том числе) либо к системной тактовой частоте, делённой на 12 (SYSCLK/12), либо к выходу внешнего генератора и тактировать с частотой этого генератора, делённой на 8 (EXTCLK/8). Таймер Т4 можно тактировать (в том числе) таймером Т3.

Теперь о нескольких багах, обнаруженных автором:

- если таймер Т3 тактируется от внешнего тактового генератора (EXTCLK/8), а Т4 – от Т3, то Т4 не запускается и не работает. Работа Т4 при тактировании от Т3 возможна только при тактировании Т3 системной тактовой частотой, делённой на 12 (SYSCLK/12);
- если ко входу CLU подключён выход таймера Т3 или Т4, а выход CLU – к внешнему порту, то при переполнении этих таймеров на выходе CLU (и соответственно на выходе порта) появляется очень короткий импульс, который непригоден, например, для тактирования PCA таймера по его входу ECI;
- как следует из описания МК EFM8LB12 [1], он может тактироваться (в том числе) от внутреннего генератора № 1 с системной такто-

вой частотой SYSCLK = 72 МГц либо от внешнего генератора (EXTCLK) с максимальной частотой до 50 МГц. Однако, как показала практика, МК прекрасно работает от внешнего генератора с частотой EXTCLK = 72 МГц. Теперь, после вышеупомянутых пояснений и багов, обнаруженных автором, несложно уже будет понять функциональные схемы тестируемого устройства, предназначенного для точного измерения временных интервалов. Эти функциональные схемы приведены далее.

Дальнейшее изложение будет построено следующим образом.

Вначале будут приведены функциональные схемы устройства, затем – его принципиальные схемы. Далее будет приведена разводка платы внешнего генератора и внешний вид платы устройства. После этого будут описаны программные средства (настройка всех устройств МК, описание основной программы и программы для калибровки частоты внешнего тактового генератора). В конце статьи будут приведены результаты работы устройства.

Функциональные схемы

Основная идея измерения временного интервала с помощью 3 таймеров – Т3, Т4 и PCA-таймера, включённых один за другим, – между нажатием кнопки с фиксацией и её отжатием заключается в следующем (рис. 2). После первого нажатия кнопки по срезу сигнала, поданного с выхода антидребезговой схемы на вход В частотомера, измеряющего длительность (время), запускаются таймеры, которые считывают входные импульсы, поступающие с внешнего генератора фиксированной и известной частоты (72 МГц). После того как кнопка отжата, на частотомере отражается время (длительность нажатого состояния кнопки), а таймеры останавливаются. Далее программа на МК снимает содержимое всех трёх таймеров и через определённый порт (P1.6) выводит количество импульсов, равное количеству импульсов, поступивших в таймеры, на второй вход частотомера (А), предназначенный для счёта импульсов. По второму нажатию кнопки выводится количество импульсов, подсчитанное Т3. Далее, когда закончен вывод импульсов с Т3, кнопка отжимается, а показания частотомера записываются. По третьему нажатию кнопки на частотомер выводится количество импульсов, рав-

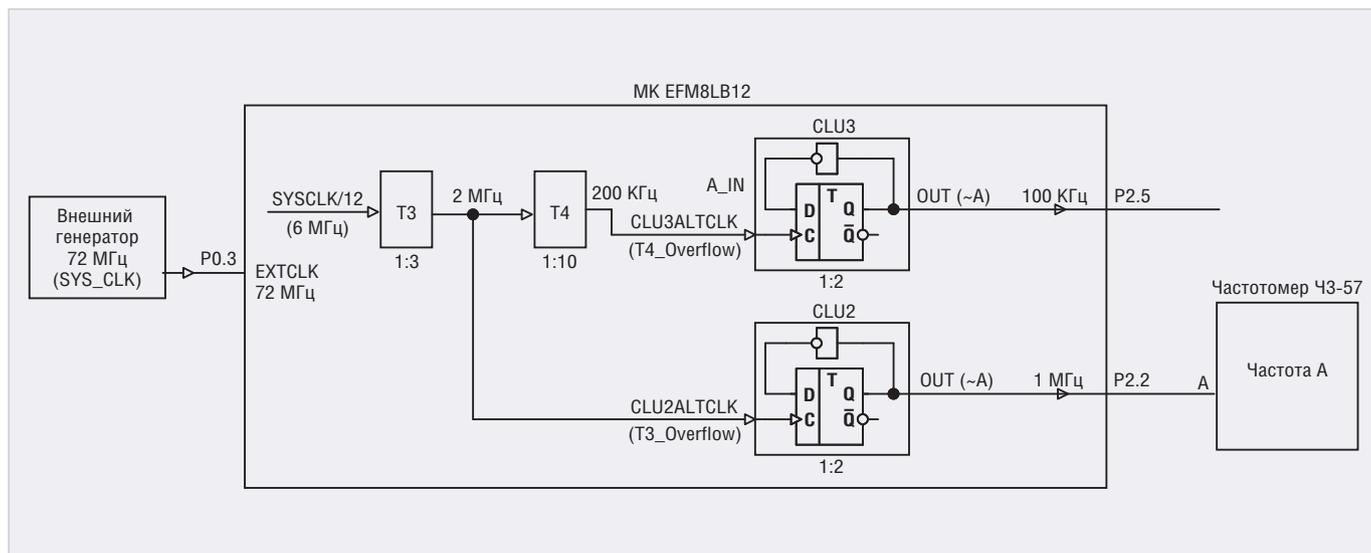


Рис. 3. Функциональная схема измерения частоты внешнего генератора

дём битовую переменную, например, ЕС, которую приравняем порту P2.5 (в программе это выглядит так: ЕС = P2^5). Обозначим содержимое PCA-таймера как [PCA] и введём двухбайтную переменную N, которая будет определять количество импульсов, поступивших с T4 на CLU3. Для расчёта N можно применить следующую формулу: $N = 2 \times [PCA] + EC$. В этом случае при поступлении чётного количества импульсов (например, 20) содержимое PCA будет равно 10 ($[PCA] = 10$), $EC = 0$, и $N = 2 \times 10 + 0 = 20$. При поступлении 21 импульса $[PCA] = 10$, $EC = 1$, и $N = 2 \times 10 + 1 = 21$, что и требуется. Вот таким способом и была снята вышеописанная неопределённость. Хотя вышеописанные рассуждения больше относятся к программным средствам, о которых речь впереди, на взгляд автора, для полного понимания здесь нелишне их привести.

Если содержимое PCA-таймера строго равно количеству импульсов, поступивших на его вход ЕС1, поскольку начальное содержимое PCA-таймера нулевое и он просто работает в режиме счёта поступающих импульсов, то содержимое T3 и T4 отнюдь не равно количеству пришедших на их входы импульсов. Дело в том, что, помимо счёта импульсов, T3 и T4 должны ещё обеспечивать деление входной частоты на определённый коэффициент деления. В частности, T3 должен делить входную частоту в 60 000 раз, чтобы выходная частота соответствовала 100 Гц ($6 \text{ МГц} = 6\,000\,000 \text{ Гц} / 60\,000 = 100 \text{ Гц}$), а T4 – в 5 раз ($100 \text{ Гц} / 5 = 20 \text{ Гц}$). Для этого они работают в режиме автоперезагрузки. Это означает, что, когда содержимое таймера равно максимальному

значению ($0x\text{FFFF}_{16} = 6\,553\,5_{10}$), с приходом следующего импульса (65 536-го) таймер переполнится, и в его содержимое из регистров перезагрузки перепишется число, равное разнице между максимальным значением 65 536 и числом, равным коэффициенту деления. Для T3 это число равно $65\,536 - 60\,000 = 5536$ ($0x15A0$), а для T4 число перезагрузки равно $65\,536 - 5 = 65\,531$ ($0x\text{FFFB}$). В этом случае, когда в T3 придет 60 000 импульсов, а в T4 – 5 импульсов, таймеры переполнятся, и произойдёт автоматическая загрузка чисел 5536 и 65 531 в T3 и T4 соответственно. Поэтому для того, чтобы узнать количество импульсов, пришедших в таймеры (NT3 и NT4), необходимо из их содержимого вычесть число перезагрузки. Для T3 $NT3 = [T3] - 5536$, а для T4 $NT4 = [T4] - 65\,531$, где [T3] и [T4] – содержимое таймеров T3 и T4 соответственно.

Для того чтобы определить время счёта каждого таймера, необходимо количество импульсов, пришедших в каждый таймер, умножить на период T следования импульсов или, что то же самое, разделить на входную частоту F (так как $T = 1/F$). Для T3 время $TT3[c] = NT3/FT3 = NT3/6000000 \text{ Гц}$, для T4 $TT4[c] = NT4/FT4 = NT4/100 \text{ Гц}$, для PCA-таймера $TPCA[c] = NPCA/FPKA = NPCA/20 \text{ Гц}$. Полное время T будет равно сумме времён каждого из таймеров: $T = TT3 + TT4 + TPCA$. Но это ещё не всё. Дело в том, что вышеописанные рассуждения базировались на том основании, что частота внешнего тактового генератора строго равна 72 МГц. На самом деле, как следует из описания внешнего тактового генератора (в данном случае это Si546CAA001075BBG – см. далее), частота этого генера-

тора указана с погрешностью в ± 20 мд, т.е. $\pm 20 / 1\,000\,000$ от заявленного значения 72 МГц, что составляет $\pm 72\,000\,000 \text{ Гц} \times 20 / 1\,000\,000 = \pm 1440 \text{ Гц}$. Другими словами, частота генератора находится в интервале от $71\,988\,560 \text{ Гц}$ ($72\,000\,000 \text{ Гц} - 1440 \text{ Гц}$) до $72\,001\,440 \text{ Гц}$ ($72\,000\,000 \text{ Гц} + 1440 \text{ Гц}$). Для того чтобы узнать, какую же реальную частоту F выдаёт внешний генератор, её (или её, делённую на какой-либо коэффициент K) можно просто измерить частотомером и внести необходимую поправку на время T. Об этом – см. далее.

Здесь же вернёмся к функциональной схеме рис. 2. В нижней её части показана антидребезговая схема на основе CLU1 и CLU2, устраняющая дребезг контактов кнопки. Как видно из этой схемы, она представляет собой простейший RS-триггер, где A_IN CLU1 и A_IN CLU2 – его входы, выходы OUT CLU1 и OUT CLU2 – это выходы триггера Q и \bar{Q} соответственно, причём выход CLU1 соединён со входом B CLU2, а выход CLU2 соединён со входом B CLU1. Если записать логическое выражение для каждого CLU как $\sim(A \& B)$, то функция каждого CLU будет представлять собой 2И-НЕ. Если сравнить этот RS-триггер с рис. 1, то получим почти полную идентичность. Разница лишь в том, что в этой схеме (рис. 2) отсутствуют резисторы R1 и R2 (рис. 1). Но если в портах P1.2 и P1.1 разрешить слаботоковые подтяжки к питанию (Weak PullUp), т.е. установить опцию Pull-ups Enabled (см. далее), то получим полную идентичность, а значит, эта схема будет подавлять дребезг контактов кнопки так же, как это описано для схемы рис. 1.

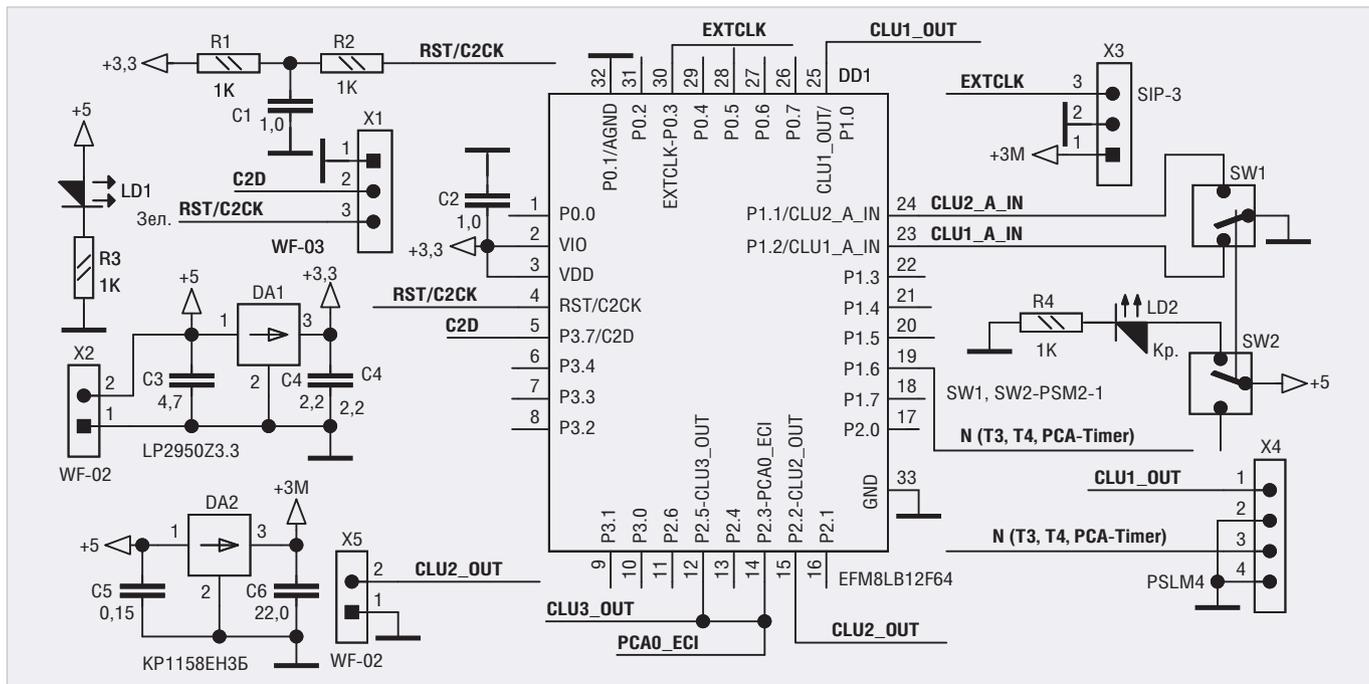


Рис. 4. Принципиальная схема тестовой платы

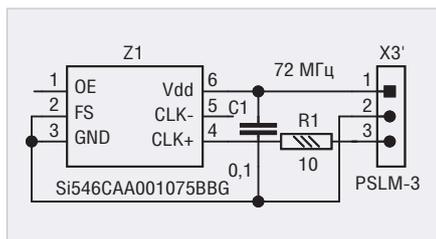


Рис. 5. Схема подключения внешнего генератора 72 МГц

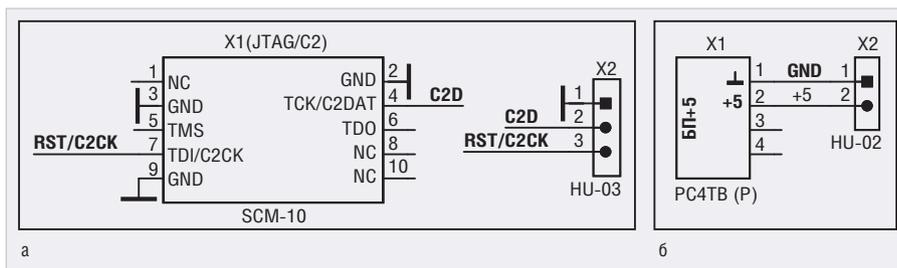


Рис. 6. Схема для программирования МК EFM8LB12 с помощью USB DEBUG адаптера: а) кабель связи с USB DEBUG адаптером; б) кабель БП

Теперь вернёмся к вопросу измерения частоты внешнего генератора. Измерять частоту 72 МГц совсем не обязательно и, кроме того, в связи с тем, что она достаточно высокая, можно получить не совсем верный результат. Гораздо проще измерить эту частоту, делённую на известный коэффициент. Как видно из рис. 3, на таймер T3 подаётся частота $SYSCCLK/12 = 6$ МГц. Если выбрать коэффициент деления в T3, равный 1:3, то с выхода T3 получим уже частоту 2 МГц, а подав её на Т-триггер на базе CLU2, получим на выходе CLU2 частоту 1 МГц, причём сигнал будет представлять собой уже прямоугольный меандр, частота которого легко измеряется частотомером. Можно для сравнения получить ещё частоту в 100 КГц с помощью T4 и CLU3. Если, например, измеренная частотомером частота будет меньше 1 МГц (пусть, к примеру, это будет 0,9995 МГц), то необходимый коэффициент поправки КП на время измерения T будет равен обратной величине: $KП = 1/0,999 = 1,001001$. Тогда время измерения $T = TT3 + TT4 +$

+TPCA (см. выше) следует умножить на этот коэффициент и получить время с поправкой: $TP = КП \times T$, которое уже можно сравнить со временем, измеренным частотомером по входу Б (рис. 2).
Теперь, когда все функциональные схемы объяснены, перейдём к принципиальным схемам.

Принципиальные схемы и общий вид тестовой платы

Как видно из рис. 4, схема тестовой платы достаточно проста. Питание (+5 В) на плату подаётся с двухконтактного штыревого разъёма WF-02 (X2). К этому разъёму подключён интегральный стабилизатор LP2950Z3.3 (DA1) с выходным напряжением 3,3 В, которое подаётся на выводы питания МК EFM8LB12F64 (2-й, 3-й выводы DD1). Конденсаторы C3 и C4 блокировочные и положены для штатной работы DA1. Конденсатор C2 положен по штату работы МК DD1. Светодиод LD1 со своим токоограничительным резистором R3 индицирует наличие пита-

ния на плате. Второй стабилизатор KP1158EH3B (DA2) с выходным напряжением 3 В (сигнал +3М) и максимальным выходным током 0,5 А предназначен для питания внешнего генератора, потребляющего ток около 70 мА. Конденсаторы C5 и C6 блокировочные и положены для штатной работы DA2. Напряжение +3 В (сигнал +3М) и «земля» подаются на 1-й и 2-й контакты 3-контактного цангового разъёма SIP3 (3 цанговые гнезда), а с его третьего контакта снимается тактовая частота 72 МГц (сигнал EXTCLK), поступающая с внешнего тактового генератора Si546CAA001075BBG (Z1, рис. 5). На плате расположен ответный 3-контактный разъём PLSM-3 (X3') (3 цанговых штыря), который вставляется в разъём платы X3. Для программирования МК используется USB DEBUG адаптер, сигналы с которого (C2D, RST/C2CK и «земля») подключаются к разъёму WF-03 (X1). Для связи с USB DEBUG адапте-

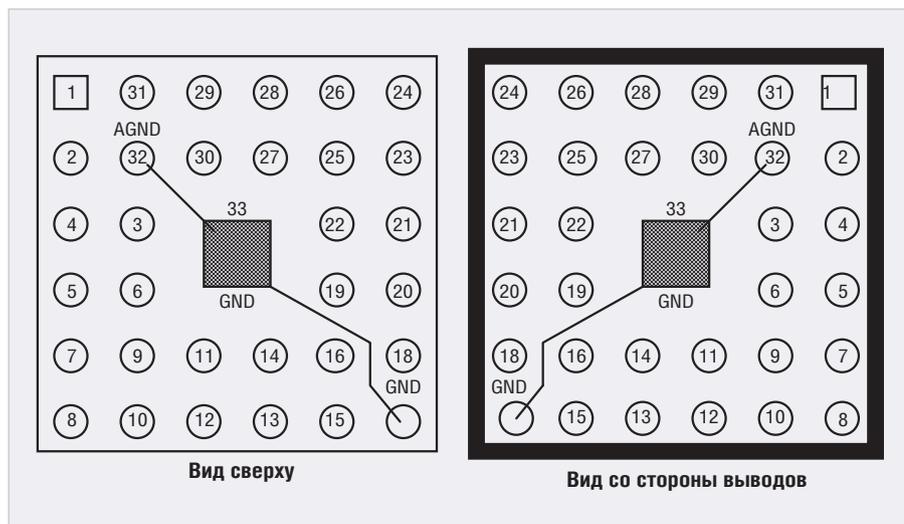


Рис. 7. Контакты переходника QFN32 – PGA32

ром используется кабель (рис. 6а), который своим одним концом подключается к выходному разъёму адаптера (X1, рис. 6а), а на втором его конце расположен разъём HU-03 (X2, рис. 6а), который подключается к разъёму X1 платы. RC-цепочка R1-R2-C1 предназначена для штатной работы интерфейса C2, по которому программируется МК и, кроме того, при включении питания запускает МК (Power-On-Reset – POR).

Если скупость не позволяет приобрести достаточно дорогой USB DEBUG адаптер (сейчас его можно купить за 3000–5000 руб.), для программирования МК можно использовать COM-порт компьютера, для чего достаточно изготовить одноканальный преобразователь уровней интерфейса RS-232 в уровни TTL (и обратно), например, с помощью известного двухканального преобразователя уровней MAX232 или используемого автором одноканального ADM3101, о котором говорится в статье автора [5]. В этой статье приведены аппаратные средства, разработанные автором, и программные средства, бесплатно предоставляемые компанией Silicon Laboratories для программирования МК с COM-порта компьютера.

К БП (+5 В) плата подключается кабелем (рис. 6б), на одном конце которого расположен разъём РС4ТВ(Р), подключаемый к БП, а на втором – разъём HU-02 (X2, рис. 6б), который подключается к разъёму питания платы (X2, рис. 4).

Кнопка (PSM2-1) представляет собой двухпозиционный переключатель с двумя группами контактов SW1 и SW2 и встроенным светодиодом LD2, торец которого выведен на лицевую поверхность кнопки. Кнопка устрое-

на так, что если нажать на неё и отпустить, это нажатое состояние фиксируется, и для того, чтобы вернуть кнопку в первоначальное состояние, на неё надо ещё раз нажать и отпустить (назовём это «отжать»). При нажатом состоянии кнопки загорается светодиод, отражающий это состояние. Резистор R4, расположенный на плате, – токоограничивающий. Группа контактов SW1 служит для подключения входов A CLU1 и CLU2 МК DD1 в соответствии с функциональной схемой рис. 2, а группа контактов SW2 – для подключения питания +5 В к светодиоду LD2.

Для подключения к частотомеру в соответствии с функциональной схемой рис. 2 использован 4-контактный цанговый штыревой разъём PSLM4 (X4), на который выведены сигналы CLU1_OUT (порт P1.0, 25-й вывод DD1), N (T3, T4, PCA-Timer) (порт P1.6, 19-й вывод DD1) и «земля». Выход CLU3_OUT (P2.5, 12-й вывод DD1) соединён со входом PCA0_ECI (P2.3, 14-й вывод DD1). На двухконтактный разъём WF-02 (X5) выведен выход CLU2_OUT (P2.2, 15-й вывод DD1) и «земля». К этому разъёму одним концом подключается кабель, второй конец которого подключается ко входу А частотомера для измерения частоты в соответствии с функциональной схемой рис. 3.

Схема рис. 4 скоммутирована вручную на макетной плате проводом МГТФ-0,03. Для МК использован переходник QFN32-PGA32 (его разводка приведена в [4]), контакты (соответствующие номерам выводов МК) которого указаны на рис. 7. Разводка платы генератора по схеме рис. 5 приведена на рис. 8 и в файле разводки (*.лауб) в дополнительных материалах на сайте

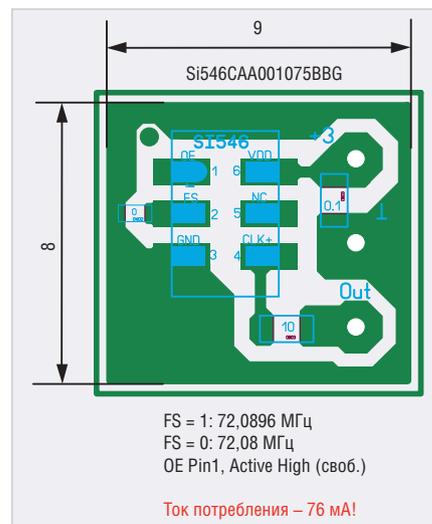


Рис. 8. Разводка платы генератора

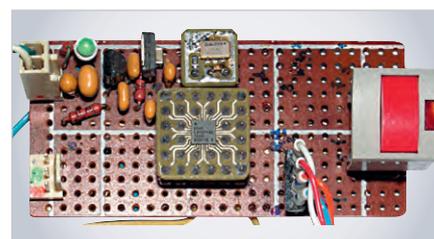


Рис. 9. Общий вид тестовой платы

журнала. Сама плата (рис. 9) небольшого размера (6,5×3 см).

Разводка платы генератора и общий вид тестовой платы. Программные средства

Программные средства состоят из двух программ. Первая, основная, предназначена для измерения длительности по времени нажатого состояния кнопки с помощью CLU и таймеров и вывода информации на частотомер в соответствии с функциональной схемой рис. 2. Вторая – для измерения частоты в соответствии с функциональной схемой рис. 3. В свою очередь, каждая из программ состоит из двух частей. Первая часть – программа инициализации устройства (InitDevice.c), вторая – основная (main). В качестве исходной автор выбрал готовую программу для CLU (EFM8LB1_Configurable_Logic_AND.c), приведённую в качестве примера в среде Simplicity Studio, бесплатно предоставляемой компанией Silicon Laboratories. Эта программа была модифицирована в соответствии с функциональной схемой рис. 2. Программа инициализации устройства InitDevice.c не требует написания её текста, поскольку он генерируется автоматически средой Simplicity Studio в соответствии с настройкой всех опций МК. Основная

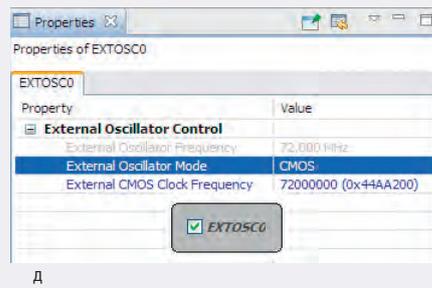
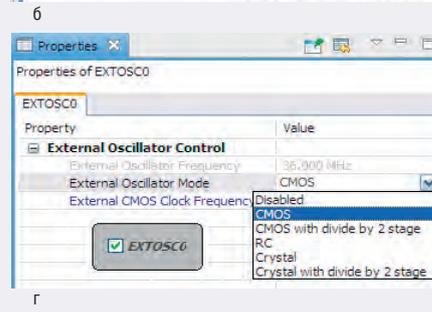
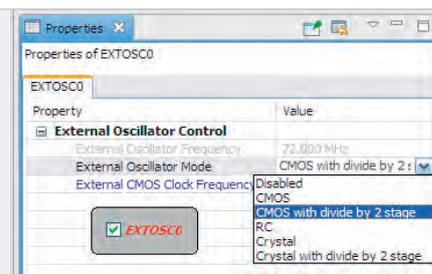
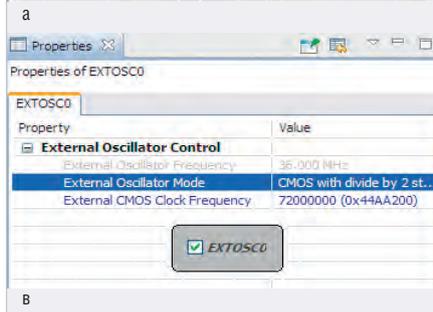
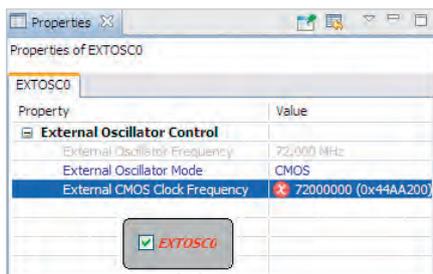


Рис. 10. Общее меню настроек МК EFM8LB12

программа написана автором на C51; её текст приведён в дополнительных материалах на сайте журнала. Словесное описание функций этой программы было уже приведено ранее в разделе статьи о функциональных схемах и, чтобы не повторяться, здесь не приводится. Поэтому ниже приводится описание настройки всех опций МК для получения программы InitDevice.c.

В основном меню среды Simplisity Studio (рис. 10) красными овалами обозначены опции, которые необходимо настроить, а синими – только разрешить (Reset Sources, Supply Monitor, Voltage Regulator) и запретить (Watchdog Timer).

Вначале необходимо настроить опцию внешнего генератора (EXTOSC0). Нажав на эту кнопку, получим окно (рис. 11а), в котором необходимо выбрать частоту 72 МГц (72 000 000) и режим CMOS. В результате такого выбора получим ошибку с красным кружком, а на кнопке надпись EXTOSC0 будет красного цвета.



Далее выберем вместо CMOS опцию CMOS with divide by 2 stage, т.е. снизим тактовую частоту в 2 раза (рис. 11б). В этом случае ошибка пропадёт, а частота установится равной 36 МГц (рис. 11в). После этого вновь выберем опцию CMOS (рис. 11г). В этом случае частота установится равной 72 МГц, но ошибки уже не будет (рис. 11д).

Далее необходимо нажать на кнопку Clock Control и в открывшемся окне выбрать опции External Oscillator и SYSCLK/1, тогда системная частота МК SYSCLK установится равной 72 МГц.

Далее необходимо нажать кнопку Core и в открывшемся окне выбрать опцию SYSCLK is below 75 MHz (это требуется для установки соответствующей скорости чтения памяти МК).

Далее необходимо настроить все необходимые CLU, для чего нажать кнопку Configurable Logic.

Рис. 11. Последовательность настройки внешнего генератора частотой 72 МГц (а, б, в, г, д)

Вначале необходимо настроить CLU1 и CLU2. В открывшихся окнах (рис. 12а, рис. 12б) необходимо разрешить оба CLU, разрешить вывод в порт CLU1 и запретить вывод в порт CLU2. Далее выбрать опцию LUT (Look Up Table – таблица истинности), т.е. указать, что требуется непосредственный (асинхронный) выход CLU (а не через D-триггер). Далее для CLU1 (рис. 12а) необходимо подключить вход A CLU1

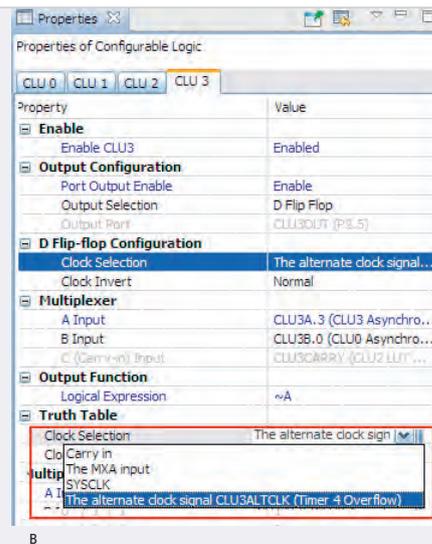
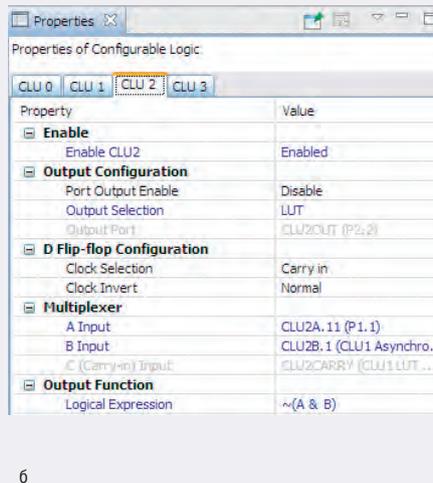
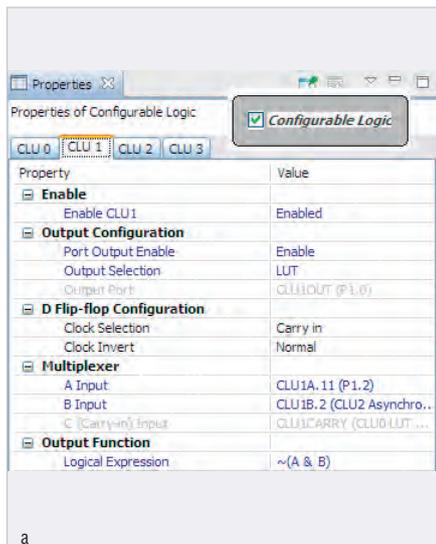


Рис. 12. Настройка конфигурируемой логики: а) CLU1; б) CLU2; в) CLU3

к порту P1.2, а вход В – к выходу CLU2. Для CLU2 (рис. 12б) подключить вход А к порту P1.1, а вход В – к выходу CLU1. Далее для обоих CLU записать логическое выражение $\sim(A \& B)$. После выбора этих опций для CLU1 и CLU2 получим RS-триггер в соответствии с рис. 2.

Теперь необходимо настроить CLU3 (рис. 12в). Здесь необходимо разрешить работу CLU, разрешить вывод его выхода в порт и указать, что вывод будет производиться через D-триггер (D Flip Flop). В качестве тактирования D-триггера выбрать таймер T4 (в красном прямоугольнике внизу рис. 12в). Далее соединить вход А CLU3 с его выходом и записать логическое выражение $\sim A$. Выбрав эти опции для CLU3, получим T-триггер, который тактируется с частотой переполнения T4 (Timer 4 overflow).

Далее настраиваем таймеры T3, T4 (рис. 13) и PCA-таймер (рис. 14). Подробно описывать окна настройки таймеров, на взгляд автора, не имеет смысла – из окон настройки и так всё понятно. Здесь только необходимо обратить внимание, что все три таймера остановлены (Stop), а для того, чтобы соединить вход ECI PCA с портом (P2.3), необходимо установить галочку в окне Port I/O Mapping у PCA ECI (рис. 14б).

Далее необходимо настроить порты МК. Для этого из режима DefaultMode Peripherals нужно перейти в режим DefaultMode Port I/O. В этом случае выведется окно, в котором будет отражён корпус МК со всеми входными и выходными сигналами (рис. 15а), а справа – окно свойств портов (рис. 15б). В этом окне свойств необходимо обратить внимание на первую строчку, где по умолчанию выбрано свойство Pull-Ups Enabled, означающую, что ко всем портам, настроенным как входы с открытым стоком (Digital OpenDrain I/O), будут подключены слаботочковые подтяжки к питанию (Weak Pullup). Как было упомянуто выше, эти слаботочковые подтяжки выполняют роль резисторов R1 и R2 (рис. 1) и таким образом дополняют схему RS-триггера на CLU1 и CLU2 (рис. 2).

Прежде всего, командами Skir необходимо «передвинуть» вход PCA0_ECI, начальное положение которого P0.0, поближе к выходу CLU3 (CLU3_ASYNC_OUT, P2.5), чтобы переключка между этими двумя портами была покор-

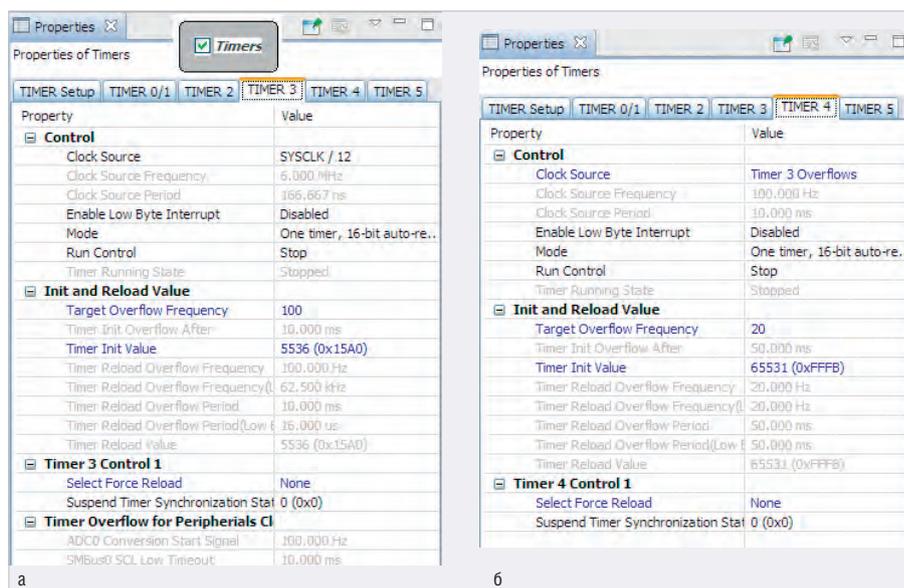


Рис. 13. Настройка таймеров: а) T3; б) T4

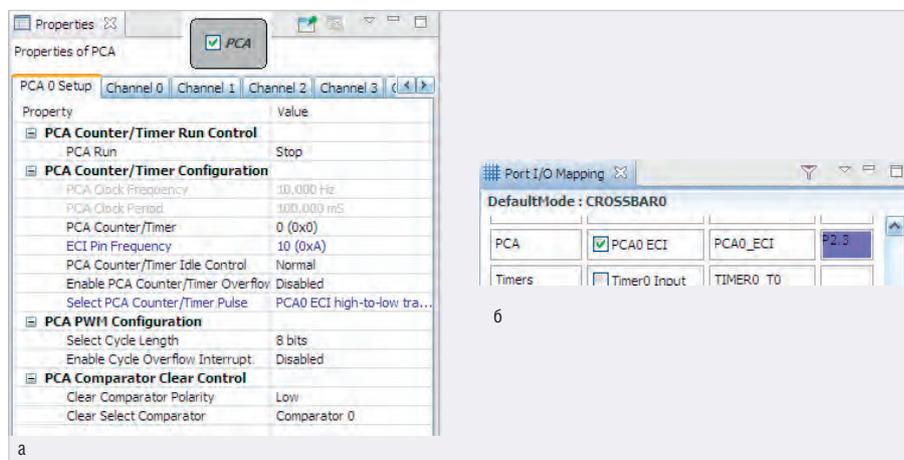


Рис. 14. Настройка PCA-таймера: а) свойства; б) подключение входа ECI к порту P2.3

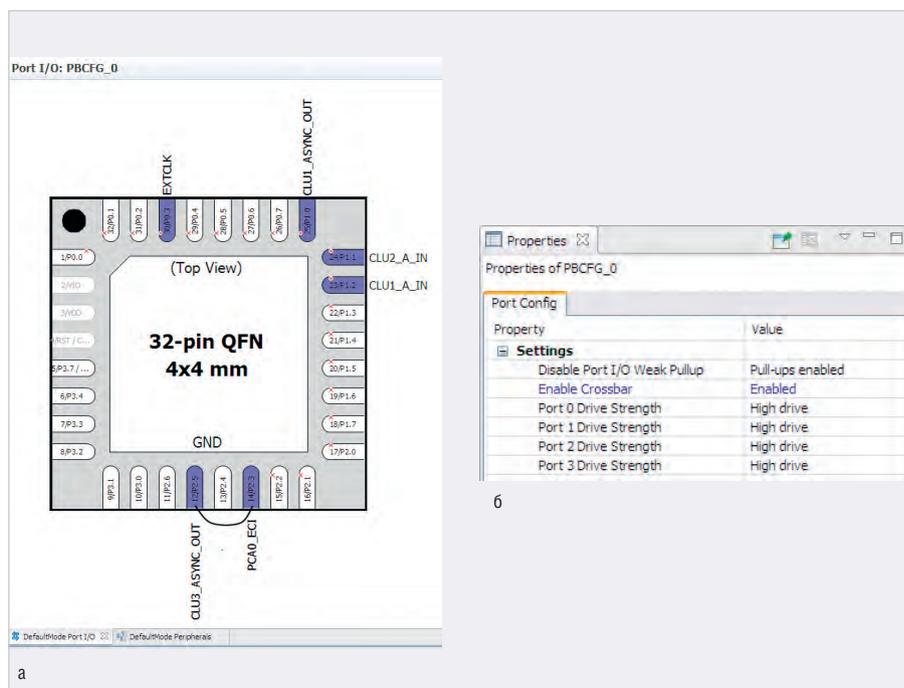


Рис. 15. Порты МК EFM8L12: а) общий вид корпуса МК с входными и выходными сигналами; б) электрические свойства портов МК

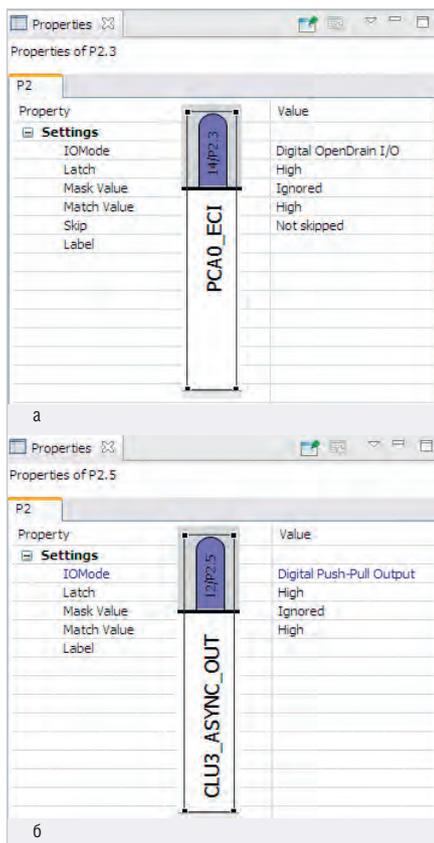


Рис. 16. Примеры установки входных и выходных свойств портов: а) вход с открытым стоком (Digital OpenDrain I/O); б) пушпульный выход (Digital Push-Pull Output)

че (на рис. 15а она показана условно). После этого входы EXTCLK, CLU2_A_IN, CLU1_A_IN и PCA0_ECI настроить как цифровые входы (Digital OpenDrain I/O), а выходы CLU1_ASINC_OUT, CLU3_ASINC_OUT и порт P1.6, по которому осуществляется вывод количества импульсов N в частотомер, настроить как цифровые выходы (Digital Push-Pull Output). Пример – на рис. 16.

На этом настройка всех устройств закончена.

Далее необходимо все настройки записать, для чего нажать кнопку с двойной дискетой в левом верхнем углу меню. При этом все настройки запишутся, и автоматически сгенерируется файл InitDevice.c уже на языке C51. Далее в верхнем меню необходимо выбрать опцию Project, а в нём – подопцию Build Project и нажать на неё. Тогда произойдёт трансляция всей программы и сгенерируется файл загрузочного формата EFM8LB1_Configurable_Logic_AND_3.hex, который уже можно запрограммировать в МК.

Текст основной программы EFM8LB1_Configurable_Logic_AND.c и оттранслированная программа

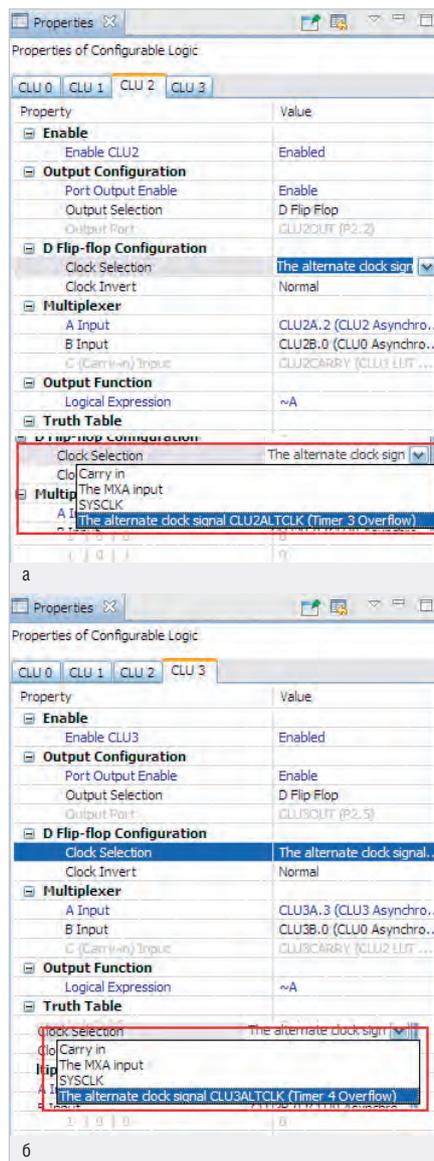


Рис. 17. Настройка CLU2 (а) и CLU3 (б)

EFM8LB1_Configurable_Logic_AND_3.hex приведены в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

Настройка устройств для второй программы, предназначенной для измерения частоты, более простая. Она отличается от первой только настройкой CLU2 и CLU3 (рис. 17), таймеров T3 и T4 (рис. 18) и портов (рис. 19). Подробно описывать эти настройки, на взгляд автора, нет смысла, поскольку на рис. 17–19 всё уже указано.

Необходимо обратить внимание в настройке таймеров (рис. 18) на то, что таймеры запускаются уже в режиме инициализации (Run Control – Start). Это означает, что при включении питания программа сразу начинает работать и выдавать сигналы с частотами, которые требуется измерить (1 МГц и 100 КГц).

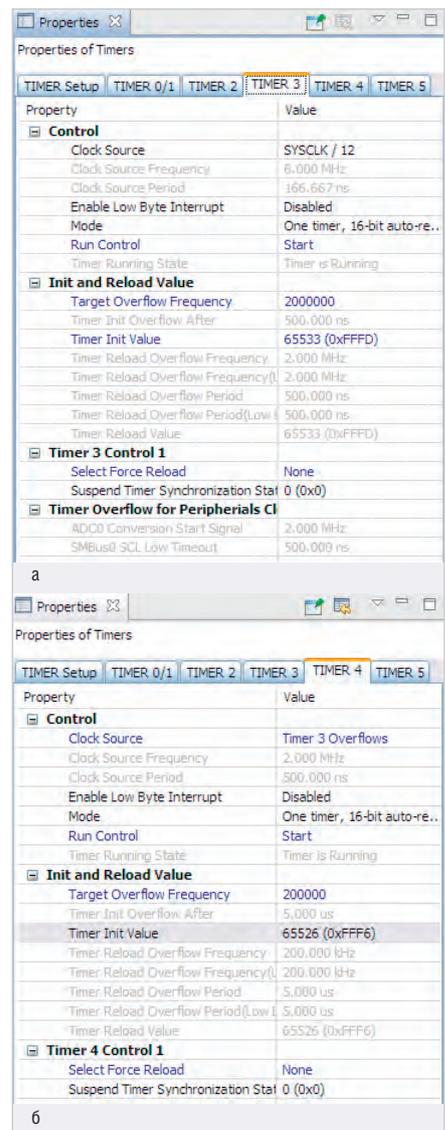


Рис. 18. Настройка таймеров T3 (а) и T4 (б)

В настройке портов (рис. 19) выходы CLU (CLU2_ASINC_OUT, CLU3_ASINC_OUT) необходимо настроить как цифровые выходы (Digital Push-Pull Output), а вход внешнего генератора EXTCLK – как цифровой вход (Digital OpenDrain I/O).

Основная программа для этого случая – вообще «никакая»:

```
void main (void)
{
    enter_DefaultMode_from_RESET();

    while (1) {}
}
```

Первым оператором она вызывает программу инициализации устройства InitDevice.c (enter_DefaultMode_from_RESET());, а второй оператор (while (1) {}) бесконечно обращается к самому себе. Это означает, что процессор МК участие в программе не принимает,

Таблица 1. Измерение времени в интервале 5...5,5 с

Таймеры	Количество импульсов, N	N/Частота [Гц]	Время T [с]
T3	56 047	56 047/6 000 000	0,00934117
T4	2	2/100	0,02
PCA	106	106/20	5,3

Таблица 2. Измерение времени в интервале 5,5...6 с

Таймеры	Количество импульсов, N	N/Частота [Гц]	Время T [с]
T3	41 690	41 690/6 000 000	0,00694833
T4	1	1/100	0,01
PCA	116	116/20	5,8

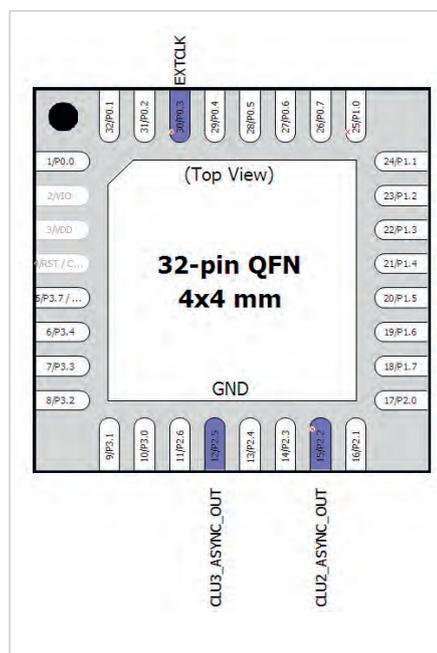


Рис. 19. Общий вид корпуса МК с входными и выходными сигналами

или, другими словами, устройства (таймеры и CLU) работают автономно и не требуют участия процессора.

После всех настроек конфигурацию также необходимо записать, сгенерировать программу инициализации устройств и оттранслировать всю программу. Оттранслированный вариант этой программы (EFM8LB1_Configurable_Logic_AND_2.hex) приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

На этом описание программных средств закончено.

Результаты

Частота, полученная на выходе CLU2 после таймера T3 (1 МГц) и измеренная частотомером, составила 999,9887 кГц, а на выходе CLU3 после таймера T4 (100 кГц) – 99,9989 кГц (см. рис. 3).

Коэффициент поправки, КЧ, для частоты 999,9887 кГц будет равен: $KЧ = 999,9887/1000 = 0,9999887$. Значение первой частоты более точное, так как у него (значения) больше цифр, поэтому она была взята за основу. Но если частота меньше, значит, период (1/F) и вообще все временные параметры, в частности, время измерения, больше, поэтому поправочный коэффициент, КТ, на который необходимо умножить время измерения, будет равен: $КТ = 1/0,9999887 = 1,0000113$.

Для того чтобы проверить правильность формулы расчёта количества импульсов, поступающих на PCA-таймер ($N = 2 \times [PCA] + EC$ – см. выше), или, другими словами, работу поправки EC, было проведено два эксперимента. В первом время измерения было чуть меньше 5,5 секунд (когда $EC = 0$), во втором – чуть больше ($EC = 1$). Частоты, поступающие на входы T3, T4 и PCA таймера, составляют соответственно $FT3 = 6 \text{ МГц} = 6\,000\,000 \text{ Гц}$, $FT4 = 100 \text{ Гц}$, $FPCA = 20 \text{ Гц}$ (рис. 2), поэтому для получения времени, измеренного каждым таймером, необхо-



Компактные высоковольтные преобразователи напряжения



ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ И СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

Технические параметры

- Входное напряжение 5, 12, 24 В
- Выходные напряжения от 2 до 10 кВ
- Мощность от 2 мВт до 15 Вт
- Диапазон температур от -55 до +70°C
- Длительный ресурс

Применение

- Медицинская диагностика
- Научное оборудование
- Авиационно-космическая техника

ProCHIP
POWERED BY ProSOFT



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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

димом соответствующее количество импульсов N разделить на соответствующую частоту (или, что то же самое, умножить на период), а для получения общего времени T все времена сложить. Результаты измерений приведены в табл. 1 и табл. 2. Итого:

- по табл. 1: $T = 5,32934117$ с; с учётом поправки ТП = $T \times \text{КТ} = T \times 1,0000113 = 5,3294013$ с; время ТЧ [мкс], измеренное частотомером, составило $5\,329\,402$ мкс = $5,329402$ с;
- по табл. 2: $T = 5,81694833$ с; с учётом поправки ТП = $T \times 1,0000113 = 5,8170141$ с; время ТЧ [мкс], измеренное частотомером, составило $5\,817\,015$ мкс = $5,817015$ с.

Как видно из сравнения времени, измеренного частотомером (ТЧ), и времени, измеренного МК (ТП), разница между ними не превышает 1 мкс. Если подсчитать относительную погрешность измерения времени МК, то она будет составлять $(1/1\,000\,000\text{ с})/5\text{ с} = 0,0000002$, что составляет 0,00002%, или 0,2 мд.

Автор, признаться, предполагал получить абсолютную погрешность

в районе десятков мкс, в крайнем случае, единиц мкс. Но на то, что погрешность составит всего 1 мкс, автор даже не рассчитывал и был несколько шокирован таким результатом. Было проведено с десяток экспериментов с временем менее 5,5 с и с временем более 5,5 с. Один раз погрешность составила 2 мкс, два раза ТЧ и ТП вообще полностью совпали. В остальных случаях погрешность составила 1 мкс.

Заключение

Использование конфигурируемых логических элементов (CLU), встроенных в МК EFM8LB12, совместно с таймерами позволяет конструировать устройства, измеряющие временные интервалы с достаточно высокой точностью. Однако это лишь один из примеров использования CLU. Область их применения существенно шире. Они дают возможность создавать внутри МК несложные логические устройства с такими функциональными свойствами (например, антидребезговые схемы, Т-триггеры и т.п.), которые ранее требовали дополнительных аппа-

ратных средств (микросхемы и другие электронные компоненты), и тем самым позволяют от них избавиться. А это, в свою очередь, существенно упрощает «обвязку» МК, что приводит к снижению сложности схемы всего устройства, уменьшению размеров его платы и корпуса для него и, в конечном счете, к значительной экономии средств на производство самого устройства.

Литература

1. EFM8 Laser Bee Family. EFM8LB1 Reference Manual // URL: efm8lb1-rm.pdf. Silabs.com.
2. AN921: Configurable Logic Unit // URL: AN921_CLU.pdf. Silabs.com.
3. Кузьминов А.Ю. Электронные устройства. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2021.
4. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2018.
5. Кузьминов А. Программирование микроконтроллеров EFM8 с помощью встроенного загрузчика программ // Радио. 2018. № 12.



smiths interconnect

ВАША БЕЗОПАСНОСТЬ — НАША ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

SpaceNEXT[™] Aurora серия

Hypertac[®] — гиперболическая форма контакта

KA серия

Разъемы для космической, авиационной, медицинской техники и железнодорожного транспорта

Высокоскоростные разъемы QuadraX/Twinax	Высокочастотные разъемы
Разъемы на печатную плату	Оптические соединители
Кабельные сборки	Соединители с подпружиненными контактами

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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



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)

Акустический автомат лестничного освещения с ШИМ-управлением яркостью

Александр Одинец (a_odinets@tut.by, г. Минск, Беларусь)

В статье рассмотрен улучшенный вариант автомата, включающий лампу накаливания по звуковому сигналу на время от 10 секунд до 1 минуты. Выдержка продлевается по мере поступления новых звуковых сигналов. Автомат дополнен функцией плавного включения и выключения лампы накаливания для увеличения её срока службы.

Общие сведения

Часто на лестничных площадках в подъездах домов можно наблюдать ситуацию, когда освещение горит непрерывно многие часы, потребляя много электроэнергии. Подобной ситуации можно избежать, если собрать несложный акустический автомат, включающий лампу по звуковому

сигналу на заданное время. При этом длительность выдержки будет продлеваться по мере повторного поступления звуковых сигналов.

Существующие конструкции автоматов лестничного освещения обычно содержат микроконтроллер, что требует его прошивки с помощью программатора, либо такие автоматы

не содержат функции защиты лампы накаливания, что приводит к её быстрому перегоранию.

Известно, что в большинстве случаев лампа выходит из строя именно в момент включения, ещё не исчерпав свой рабочий ресурс. Происходит это из-за броска тока, когда сопротивление холодной нити в несколько раз меньше, чем в нагретом состоянии. При этом амплитудное значение тока достигает нескольких ампер, что приводит к быстрому разрушению нити. Поэтому, дополнив автомат функциями плавного включения и выключения лампы, можно значительно продлить срок её службы.

В отличие от базового варианта [1], в данной конструкции в качестве коммутирующего элемента вместо симистора применён мощный MOSFET-транзистор, что необходимо для ШИМ-управления яркостью лампы накаливания. Также по упрощённой схеме выполнен цифровой таймер отсчёта времени выдержки. Кроме того, микрофонный усилитель выполнен на ОУ (операционном усилителе), что позволило значительно повысить чувствительность автомата. В итоге получился более надёжный автомат (на меньшем числе компонентов), реализующий лучшие характеристики с меньшими аппаратными затратами.

Схема и принцип работы

Схема электрическая автомата показана на рис. 1. Автомат содержит: стабилизатор напряжения «+12 В» на элементах R1, VD1, VD2, C1...C4, DA1; схему управления яркостью (ШИМ-контроллер): VT1, R2...R9, C5...C8, DA2; мощный ключевой транзистор VT2; одновибратор-формирователь импульса сброса таймера на элементах DD1.1, DD1.2 и собственно таймер на элементах DD1.3, DD1.4, R11, VD6, C10; ключевые транзисторы VT3, VT4, а также усилитель сигналов звуковой частоты на ОУ DA3.1 и DA3.2, диодный выпрямитель VD8, VD9, а также интегрирующий конденсатор C16.

Работает автомат следующим образом. В начальный момент времени при подаче питания конденсатор C5 разряжен, поэтому транзистор VT1 закрыт, и конденсатор C7 также разряжен через открытый коллекторный переход транзистора микросхемы DA2. Поскольку на входе «S» (вывод 2) таймера DA2 присутствует уровень логического нуля, генерация таймера отсутствует, и на его

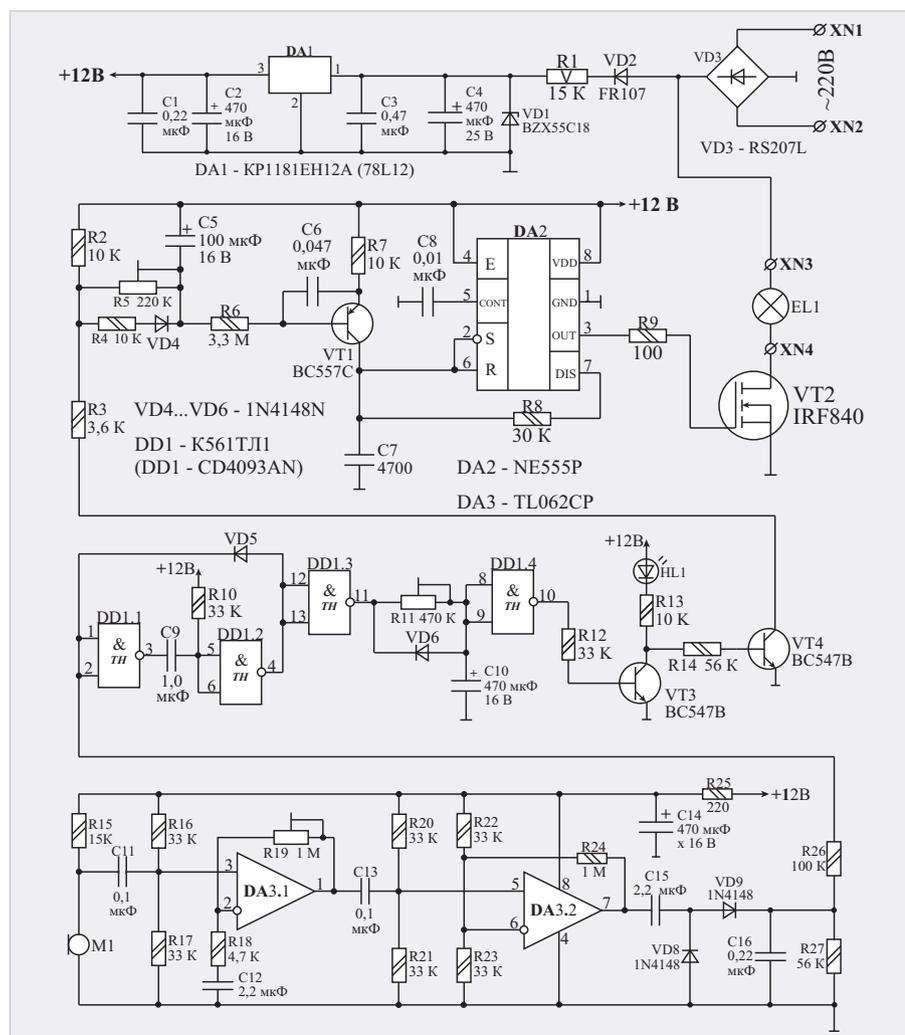


Рис. 1. Акустический автомат лестничного освещения с ШИМ-управлением яркостью. Схема электрическая принципиальная

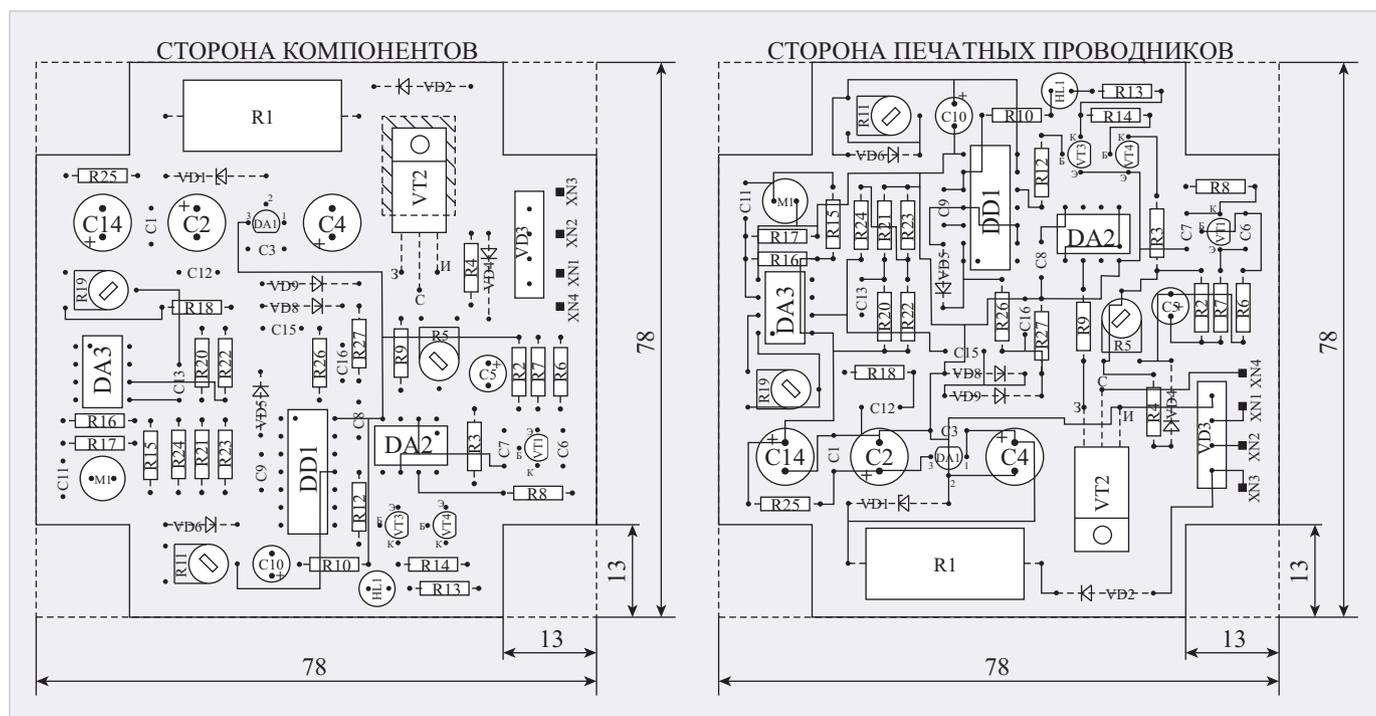


Рис. 2. Акустический автомат лестничного освещения с ШИМ-управлением яркостью. Рисунок печатной платы

выходе присутствует уровень логической единицы, поэтому мощный полевой транзистор VT2 постоянно открыт, и лампа EL1 светит с максимальной яркостью.

При отсутствии звуковых сигналов конденсатор C10 заряжен, на выходе логического элемента DD1.4 установлен уровень логического нуля, поэтому транзистор VT3 закрыт, а VT4 открыт. Начинается заряд конденсатора C5 через резисторы R3 и R5. Через 3...5 секунд (что определяется введённой частью сопротивления резистора R5), после того как напряжение на эмиттерном переходе VT1 дойдёт до 0,5...0,6 В, этот транзистор начинает открываться. Когда ток в его коллекторной цепи достигнет достаточного уровня, начнётся заряд конденсатора C7 и появится генерация DA2, т.е. на выводе 3 возникнут короткие импульсы отрицательной полярности. Первоначально скважность импульсов велика, и поэтому снижение яркости лампы незаметно. По мере заряда C5 транзистор VT1 открывается сильнее, время заряда C7 до порогового напряжения переключения DA2 постепенно уменьшается, а время разряда этого конденсатора не изменяется, так как сопротивление R8 постоянно. Это приводит к тому, что скважность импульсов на выводе 3 постепенно уменьшается, средняя мощность, подаваемая на лампу EL1, также уменьшается, и яркость её свечения плавно снижается.

Примерно через 3...5 секунд, считая с момента подачи питания, ток коллектора VT1 достигает значения, при котором C7 уже не в состоянии разрядиться до напряжения ниже порогового (через R8 и транзистор микросхемы). Генерация срывается, на выводе 3 DA2 устанавливается низкий уровень, транзистор VT2 закрывается, лампа не светится.

При закрывании VT4 все процессы протекают в обратном порядке, но разряд C5 происходит через диод VD4 и резисторы R2, R4 и R5. Включение лампы происходит гораздо быстрее, за время 1...2 секунды.

При появлении звуковых сигналов (звук шагов, разговоре, открывании дверей) на выходе микрофона формируется переменное напряжение амплитудой несколько милливольт. Оно усиливается двухкаскадным усилителем переменного напряжения на ОУ DA1.1 и DA1.2, выпрямляется диодами VD8, VD9 и сглаживается конденсатором C16, выполняющим роль интегратора. Далее выпрямленное напряжение через резистор R26 поступает на вход одновибратора, выполненного на элементах DD1.1, DD1.2. Этот одновибратор формирует короткий положительный импульс, который, инвертируясь элементом DD1.3, каждый раз через диод VD6 разряжает конденсатор C10 и тем самым перезапускает таймер. При этом начинается отсчёт нового временного интервала, длительность

которого можно выбирать в пределах от 10 с до 1 мин подстроечным резистором R11. Практическое значение имеет временной интервал 20...40 с, который устанавливают при окончательной настройке автомата. Работа таймера индицируется включением красного светодиода HL1.

Если поступление звуковых сигналов будет продолжаться, одновибратор будет продолжать формировать импульсы, перезапускающие таймер, и время выдержки будет продлеваться. Если поступление звуковых сигналов прекратится, одновибратор будет оставаться в исходном состоянии, и когда конденсатор C10 зарядится до порогового напряжения элемента DD1.4, уровень лог.0 закроет транзистор VT3, а VT4 будет открыт. Таким образом, конденсатор C5 будет заряжен, ключевой транзистор VT2 будет закрыт, и лампа накаливания будет выключена до появления следующего звукового сигнала.

Конструкция и детали

Автомат собран на печатной плате из двустороннего фольгированного стеклотекстолита (рис. 2) толщиной 1,5 мм размерами 78x78 мм. Автомат устанавливается в пластмассовую коробку подходящих размеров. В автомате применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, пятиваттный типа SQP (R1), подстроечные — СПЗ-386 в горизонтальном исполнении, электролитические конденсаторы — типа

K50-35 или аналогичные импортные, неполярные — K10-17. Микрофон может быть типа CZN-15E, МКЭ-332, МКЭ-333, МКЭ-389-1 (используются в телефонии). На месте стабилизатора VD1 может работать BZX85C18 или аналогичный маломощный с напряжением стабилизации 18...22 В. Диоды VD4...VD9 — любые маломощные кремниевые из серий КД503, КД521, КД522, 1N4148. Диодный мост VD3 можно заменить КВР210. На месте ключевого транзистора VT2 могут работать IRF740, IRF840 или аналогичные мощные MOSFET-транзисторы с минимально допустимым напряжением стока не менее 400 В и током стока

не менее 5 А. Микропотребляющий ОУ типа TL062CP заменим на TL072, TL082, но их потребление несколько выше. ИМС К561ТЛ1 заменима на КР1561ТЛ1 или импортные аналоги CD4093AN или CD4093BN.

Настройка автомата заключается в установке требуемого времени выключения лампы — с помощью резистора R5, чувствительности усилителя — с помощью резистора R19 и времени выдержки таймера — с помощью резистора R11. При мощности лампы накаливания не более 100 Вт мощный ключевой транзистор в дополнительном теплоотводе не нуждается. В качестве теплоотвода используется сама

печатная плата. С этой целью транзистор фиксируется на плате с помощью винтового соединения.

При настройке устройства необходимо помнить о соблюдении правил техники безопасности. Конструкция не имеет гальванической развязки от сети переменного тока! Все элементы находятся под напряжением ~220 В. При настройке устройства необходимо использовать отвёртку с ручкой из изоляционного материала.

Литература

1. *Одинец А.Л.* Акустический автомат лестничного освещения // Современная электроника. 2017. № 3. С. 62–64. 

НОВОСТИ МИРА

SK hynix освоила массовое производство сенсоров с пикселями 0,7 мкм

В июне 2021 года Samsung Electronics выпустила самый маленький в отрасли датчик изображения разрешением 50 Мп с пикселями размером 0,64 мкм, а в сентябре того же года представила датчик изображения разрешением 200 Мп с та-

кими же пикселями. На выставке CES 2022 компания OmniVision представила датчик изображения с пикселями размером 0,62 мкм.

На рынке датчиков изображения Sony занимает первое место с долей 40%, за ней следует Samsung с долей 20%.

Ожидается, что SK hynix будет поставлять новые датчики Samsung Electronics.

Возможно, что они будут использоваться в смартфонах серии Galaxy A, выпуск которых запланирован на вторую половину года. Ранее SK hynix поставляла 13-мегапиксельные датчики с пикселями размером 1,0 мкм для складного смартфона Samsung Galaxy Z Flip 3.

ixbt.com

ВАКУУМНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИСПЛЕИ ДЛЯ ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Яркость 600 кд/м²

Угол обзора 150° (конусный)

Встроенные контроллеры управления

Символы высотой 5 и 9 мм

Вибрации от 10 до 500 Гц

Удары до 20g (по каждой оси)

Ресурс от 40 000 до 100 000 часов

Диапазон рабочих температур -40...+85°C

ИИЭ INDUSTRIAL ELECTRONIC ENGINEERS

ВЛД с точечной матрицей серии Century — по-прежнему в строю!

05464-35074-01X5

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIPRU ▪ WWW.PROCHIPRU





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

12-14 апреля 2022

Москва, Крокус Экспо

electrontechexpo.ru

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



Применение программы CodeVisionAVR для управления буквенно-цифровыми дисплеями в Proteus 8.11

Татьяна Колесникова (beluikluk@gmail.com)

В статье рассмотрено применение функций программы CodeVisionAVR и генератора кода CodeWizardAVR для формирования анимации и отображения текста на экране буквенно-цифрового дисплея, работающего под управлением микроконтроллера AVR. Приведён пример моделирования схемы в Proteus с использованием микроконтроллера ATmega16 и датчика касания, пробников напряжения и логических уровней 0 и 1, буквенно-цифрового дисплея в 4- и 8-разрядных режимах работы. Проведён контроль входных/выходных сигналов, присутствующих на выводах микроконтроллера.

Введение

Программа Proteus позволяет автоматизировать все стадии проектирования электронных устройств, включая подготовку принципиальных схем, моделирование процессов, происходящих в электронных цепях, компоновку и трассировку печатных плат, редактирование и расширение библиотек компонентов. В Proteus реализовано большое количество функций для профессионального проектирования микроэлектронных устройств, ориентированных на самые современные средства моделирования. Одной из таких функций является имитация работы микроконтроллеров. Система, в которой используется микроконтроллер, может не только чем-то управлять, но и что-то отображать. Чаще всего в каче-

стве узла отображения в микроэлектронной системе используют дисплеи, среди которых буквенно-цифровые (предназначенные для отображения информации в виде букв, цифр, различных знаков). Единичные элементы отображения таких индикаторов сгруппированы по строкам и столбцам. В Proteus буквенно-цифровые дисплеи находятся в разделе Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics и представлены следующими микросхемами: LM016L (16×2), LM017L (32×2), LM018L (40×2), LM020L (16×1), LM032L (20×2), LM041L (16×4), LM044L (20×4), MDLS40466 (40×4). В скобках указано разрешение дисплея. Например, 32×2 – 32 символа × 2 строки.

Для практического применения дисплея требуется его взаимодействие с внешним

источником данных, генератором кодовых комбинаций символов, схемой управления, в качестве которых можно применить микроконтроллер. Каких-либо стандартных правил сопряжения микроконтроллеров с дисплеями не существует, и в каждом конкретном случае сопряжение может выполняться по-разному.

При проектировании в Proteus схемы устройства вывода информации, работающего под управлением микроконтроллера AVR, написание программы инициализации и её компиляцию можно выполнить с помощью CodeVisionAVR (интегрированной среды разработки программного обеспечения для микроконтроллеров семейства AVR). CodeVisionAVR 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, что позволяет напрямую обращаться к регистрам микроконтроллера.

Формирование программного кода в CodeVisionAVR выполняют при

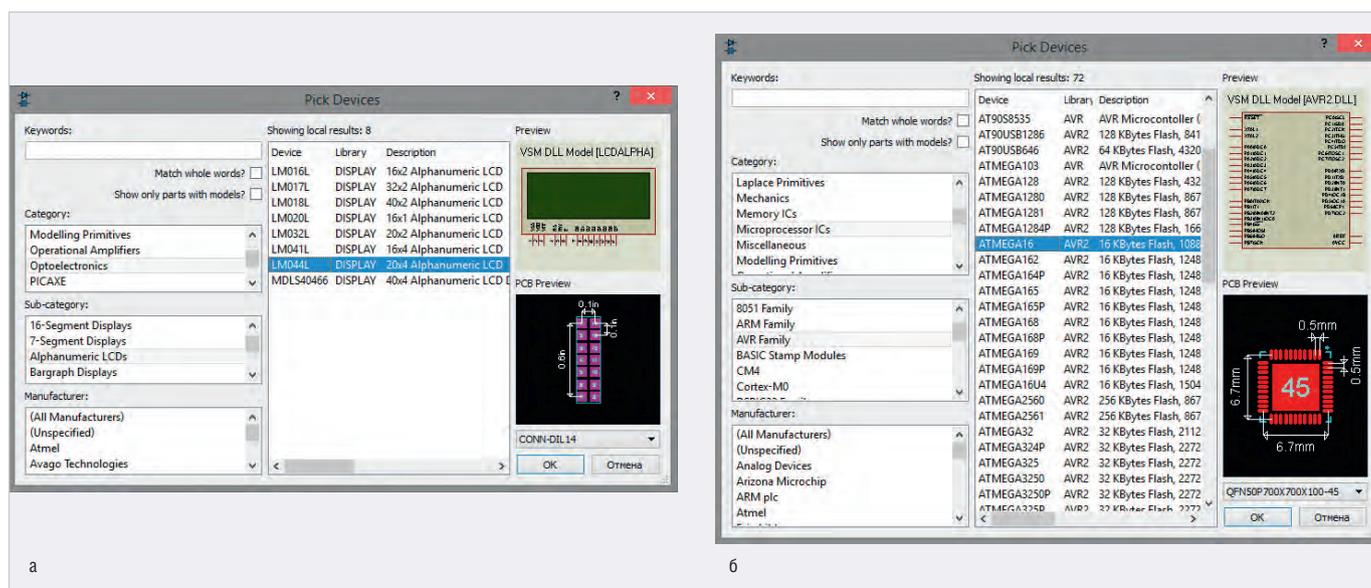


Рис. 1. Выбор микросхемы: (а) LM044L из раздела Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics, (б) ATmega16 из раздела AVR Family библиотеки Microprocessor ICs

помощи автоматического генератора CodeWizardAVR или вручную с нуля, используя синтаксис языка программирования C и функции стандартных библиотек программы для работы с буквенно-цифровыми LCD-модулями, шиной I²C, EEPROM DS2430 и DS2433, температурными датчиками (LM75 и DS1820/DS18S20), часами реального времени (PCF8563, PCF8583, DS1302, DS1307), протоколом 1-Wire, SPI, USART, а также функции формирования задержек, управления питанием и преобразования кода Грея. Удобство применения генератора состоит в быстром получении кода выполнения функций инициализации микроконтроллера и его портов ввода/вывода, внешних прерываний, таймеров/счётчиков, сторожевого таймера, аналогового компаратора, интерфейсов USART и SPI, шин 1-Wire и I²C, буквенно-цифровых и графических дисплеев, установки доступа к внешней памяти и др. Однако в процессе работы мастера формируется достаточно объёмный код, который впоследствии приходится редактировать.

Когда код пишется вручную, для управления буквенно-цифровым дисплеем применяют функции библиотеки для работы с буквенно-цифровыми модулями, функции ввода/вывода информации на экран дисплея, строковые функции языка C.

В статье рассмотрен вывод текстовых данных на экран дисплея LM044L (в 4- и 8-разрядном режиме), работающего под управлением программы инициализации микроконтроллера ATmega16, написанной в CodeVisionAVR на языке C с использованием системы команд контроллера HD44780. Применение функций управления буквенно-цифровым дисплеем программы CodeVisionAVR рассмотрено на примере схемы, где с помощью датчика касания и микроконтроллера ATmega16 проводится формирование управляющего сигнала, обработка полученных данных программой инициализации и вывод анимации в виде строки загрузки и информационных сообщений на экран буквенно-цифрового дисплея. Строка загрузки реализована последовательным заполнением знакомест первой строки экрана буквенно-цифрового дисплея (нумерация строк и столбцов начинается с нуля).

Проектирование схемы электрической принципиальной в Proteus

Буквенно-цифровые дисплеи – очень популярный способ вывода информа-

ции в электронных устройствах. Работу с буквенно-цифровыми дисплеями в Proteus рассмотрим на примере микросхемы LM044L с разрешением экрана 20 символов на 4 строки, для тестирования которой воспользуемся микроконтроллером ATmega16.

Если написание программного кода управления электронной системой предполагается выполнить в CodeVisionAVR, то проект схемы электрической принципиальной в схемном редакторе создают при помощи кнопки Schematic Capture верхней панели инструментов стартового окна Proteus. Нажатие кнопки открывает новую одноимённую вкладку, в рабочем поле которой и будет выполняться разработка схемы.

Создадим в Proteus новый проект и добавим в рабочее поле микросхему дисплея, для чего при помощи команды контекстного меню Place/Component/From Libraries схемного редактора откроем окно Pick Devices и выберем левой кнопкой мыши из раздела Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics микросхему LM044L (рис. 1а). Нажмём на кнопку ОК (окно Pick Devices будет закрыто) и разместим микросхему в рабочей области проекта.

Микросхема LM044L работает под управлением контроллера HD44780, который принимает и обрабатывает команды управления и выводит соответствующие символы на дисплей. Микросхема 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;
- D0...D7 – шина данных/команд.

Микросхема LM044L может работать в двух режимах:

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

Для тестирования работы дисплея будем использовать микроконтроллер, в качестве которого применим микросхему ATmega16 из раздела AVR Family библиотеки Microprocessor ICs (рис. 1б).

Для подключения микросхемы LM044L 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 D0...D7 к выводам PD0...PD7 порта PD (для работы в 8-разрядном режиме), а выводы RS и E к выводам PC4 и PC7 порта PC микроконтроллера ATmega16 так, как показано на рис. 2а. Для работы в 4-разрядном режиме выводы модуля дисплея D4...D7 подсоединяют к выводам PD4...PD7 порта PD (рис. 2б). Вывод RW подключим к «земле», так как в нашей системе будет выполняться только запись информации в микросхему LM044L. 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 подключается к питанию через подстроечный резистор, который позволяет плавно регулировать контрастность отображения символов на дисплее. Символы «земли» и питания добавляются в схему, выбрав на панели TERMINALS строки GROUND и POWER (рис. 3). Панель открывают нажатием кнопки Terminals Mode на левой панели схемного редактора.

Приём информации микросхемой LM044L выполняется по 8-разрядной шине данных/команд в 8- и 4-разрядном режиме. Подача управляющих сигналов через подключённые к портам микроконтроллера ATmega16 линии выполняется программно. Выбор линий портов микроконтроллера для подключения к указанным выводам дисплея производится разработчиком произвольно.

В окне свойств буквенно-цифрового 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. 4а). Её значение должно совпадать с частотой работы микроконтроллера (в нашем примере 2 МГц), которую указывают в окне его свойств (рис. 4б). Для этого в поле Advanced Properties из выпадающего списка выбирают пункт Clock Frequency и определяют соответствующее ему значение (2 МГц). Также в окне свойств микроконтроллера установим следующие параметры:

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

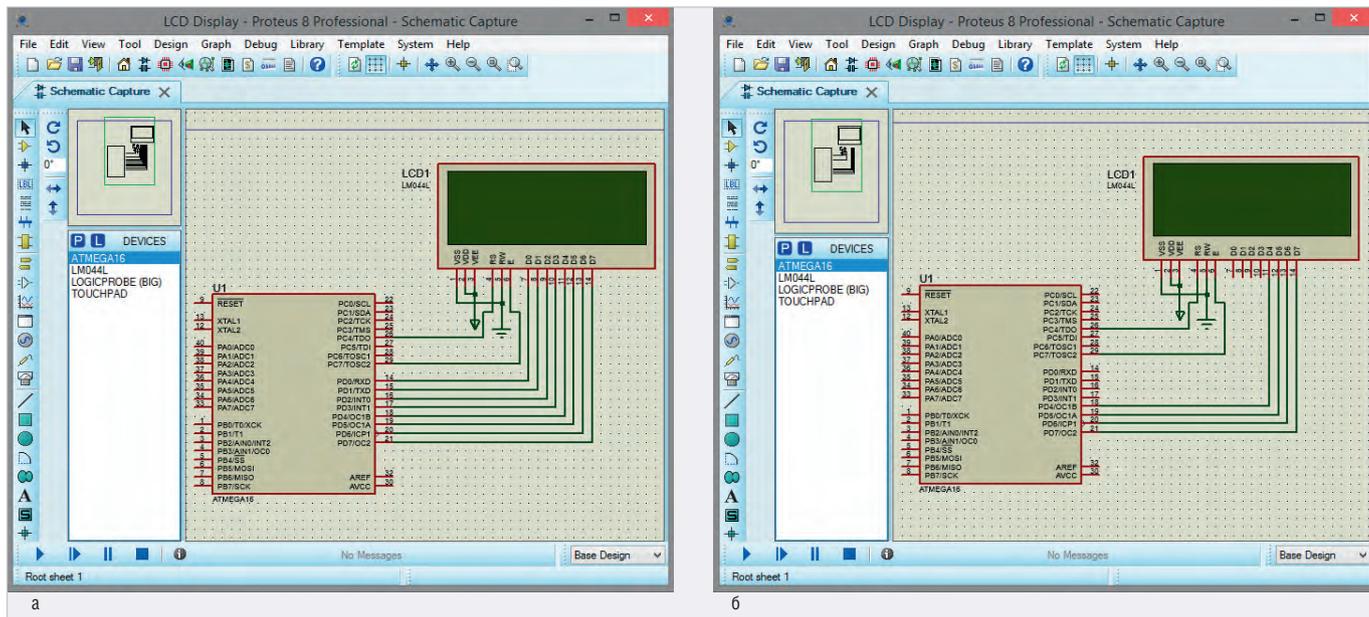


Рис. 2. Сопряжение микроконтроллера ATmega16 с буквенно-цифровым дисплеем LM044L, работающим в: (а) 8-разрядном и (б) 4-разрядном режиме

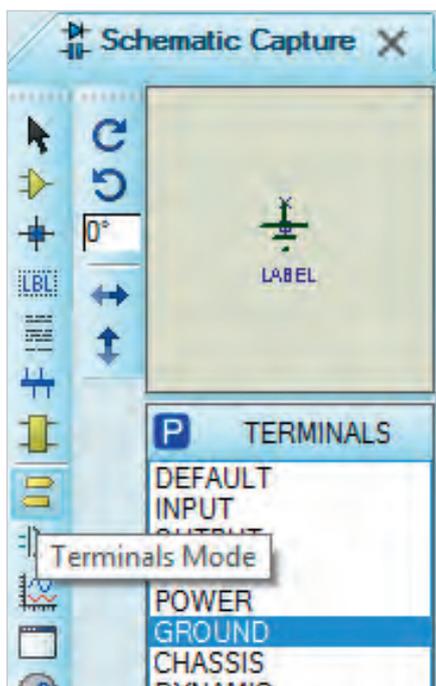


Рис. 3. Открытие при помощи кнопки Terminals Mode панели TERMINALS и выбор символа «земли»

Таблица 1. Система команд контроллера HD44780

Команда	Код									
	RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Очистить дисплей и установить курсор в нулевую позицию	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Возврат курсора в нулевую позицию	0	0	0	0	0	0	0	1	-	
Выбор направления сдвига курсора при записи следующего символа (I/D – 1 сдвиг вправо, I/D – 0 сдвиг влево); Разрешение или запрет сдвига экрана (S – 1 сдвиг разрешён, S – 0 сдвиг запрещён)	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	
Включить/выключить дисплей (D – 1 дисплей включён, D – 0 дисплей отключён); Включить/выключить отображение курсора на экране (C – 1 курсор отображается, C – 0 курсор не отображается); Включить/выключить мигание курсора (B – 1 курсор мигает, B – 0 курсор не мигает)	0	0	0	0	0	1	D	C	B	
Сдвиг курсора/экрана (S/C – 1 сдвиг экрана, S/C – 0 сдвиг курсора; R/L – 1 сдвиг вправо, R/L – 0 сдвиг влево)	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	
Выбор режима работы (DL – 1 8-разрядный, DL – 0 4-разрядный); Выбор количества используемых для работы строк экрана (N – 1 две строки, N – 0 одна строка); Выбор размера отображаемых на экране символов (F – 1 шрифт 5x7 пикселей, F – 0 шрифт 5x10 пикселей)	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	
Выбор адреса (ACG) ячейки памяти CGRAM	0	0	1	ACG	ACG	ACG	ACG	ACG	ACG	
Выбор адреса (ADD) ячейки памяти DDRAM	0	1	ADD							
Запись данных в выбранную ячейку памяти DDRAM или CGRAM	8-разрядный режим	1	8 бит	7 бит	6 бит	5 бит	4 бит	3 бит	2 бит	1 бит
	4-разрядный режим	1	8 бит	7 бит	6 бит	5 бит	-	-	-	-
			4 бит	3 бит	2 бит	1 бит	-	-	-	-

- поле Boot Loader Size – (00) 1024 words. Starts at 0x1C00;
- поле SUT Fuses – (01);
- поле Program File – путь к .hex (или .cof) файлу на диске компьютера.

Подача управляющих сигналов через подключённые к портам микроконтроллера ATmega16 линии выполняется программно в соответствии с табл. 1.

Необходимо отметить, что контроллер HD44780 содержит три вида памяти:

- DDRAM – оперативное запоминающее устройство, в котором хранятся коды символов, отображаемых на экране;

- CGROM – постоянное запоминающее устройство, которое содержит «битовое изображение» символов;
 - CGRAM – оперативное запоминающее устройство, является частью CGROM, предназначено для хранения символов пользователя.
- Последовательность действий, которые необходимо выполнить управляющей схеме при совершении операции записи по 8-разрядной шине, может быть следующей:
- установить значение линии RW=0 (запись в микросхему LM044L);

- установить значение линии RS=0 (приём команд);
- вывести значение байта команды 00001111 на линии шины D0...D7 (команда включения дисплея);
- вывести значение байта команды 00110100 на линии шины D0...D7 (установка разрядности шины);
- вывести значение байта команды 00000001 на линии шины D0...D7 (очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию);
- установить значение линии RS=1 (приём данных);

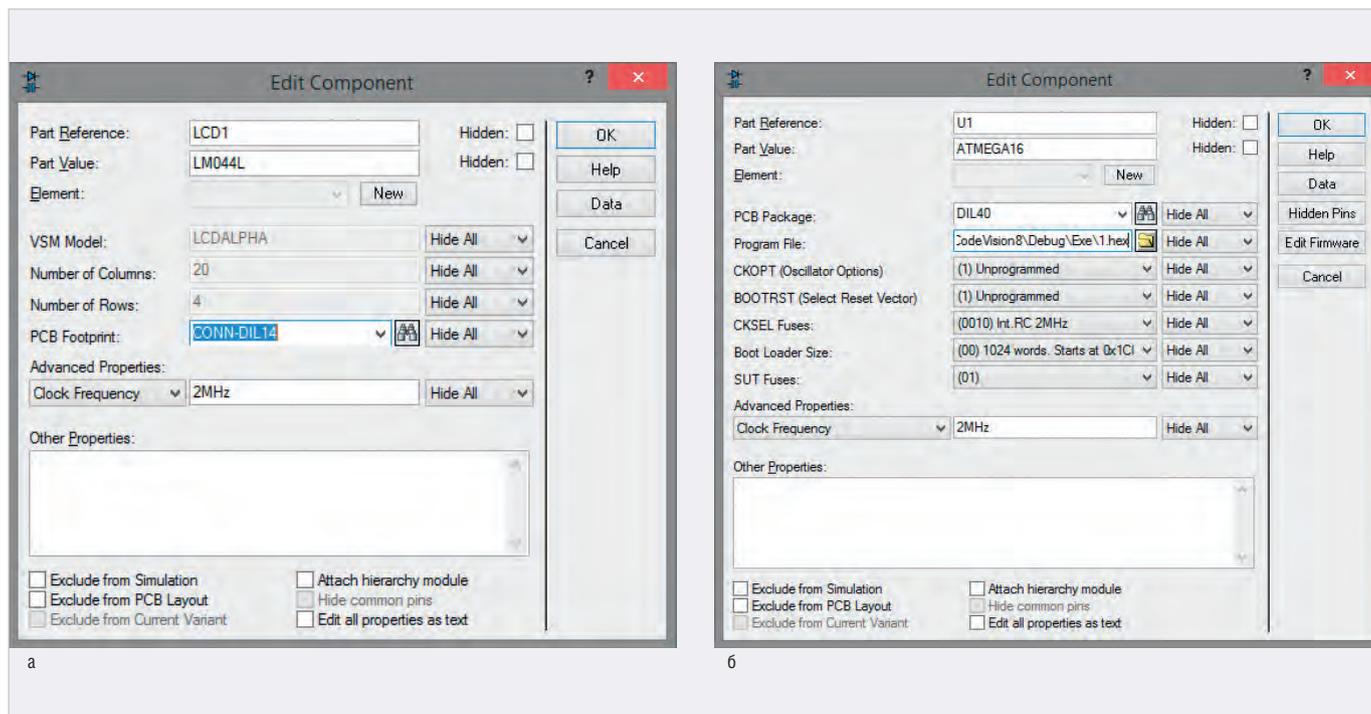


Рис. 4. Окно свойств: (а) буквенно-цифрового дисплея LM044L, (б) микроконтроллера ATmega16

вывести значение байта данных на линии шины D0...D7.

Последовательность действий, которые необходимо выполнить управляющей схеме при совершении операции записи в 4-разрядном режиме, может быть следующей:

- установить значение линии RW=0 (запись в микросхему LM044L);
- установить значение линии RS=0 (приём команд);
- вывести значение старшего полубайта 0010 команды 00100000 на линии шины D4...D7 (установка разрядности шины);
- вывести значение старшего полубайта 0000, а затем младшего полубайта 1111 команды 00001111 на линии шины D4...D7 (команда включения дисплея);
- вывести значение старшего полубайта 0000, а затем младшего полубайта 0001 команды 00000001 на линии шины D4...D7 (очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию);
- установить значение линии RS=1 (приём данных);
- вывести значение старшего полубайта данных, а затем младшего полубайта данных на линии шины D4...D7.

При написании кода программы необходимо учитывать, что по умолчанию микросхема LM044L работает в 8-разрядном режиме, поэтому первую команду 00100000 (установка 4-разрядного режима) необходимо подать на шину данных/команд с учётом того, что информация

будет передана за один такт. Так как в 4-разрядном режиме мы не имеем доступа к выводам D0...D3 микросхемы LM044L и управляющий бит находится в старшем полубайте (0010) команды (00100000), то младший полубайт (0000) на шину данных/команд D0...D7 выводить не нужно. После записи кода 0010 в регистр команд микросхема LM044L будет переведена в 4-разрядный режим работы, и дальнейшая передача информации будет выполняться через выходы D4...D7.

Необходимо учитывать, что большинство операций, выполняемых контроллером микросхемы LM044L, занимают значительное время, около 40 мкс, а время выполнения некоторых доходит до единиц миллисекунд. Поэтому в программе управления жидкокристаллическим модулем совершению любой операции должны предшествовать команды задержки, которые можно организовать с помощью функции `delay_ms()`, где в скобках указывается время задержки в мс. Также необходимо обеспечить формирование тактового сигнала на линии E микросхемы LM044L. Сделать это можно программно, посредством чередования подачи значений нуля и единицы.

На языке программирования C эти действия можно реализовать следующим образом:

```

• для 8-разрядного режима работы:
PORTC &=~ (1<<4); // RS=0 (приём команд)
e (); PORTD=0b00001111; // включение дисплея

```

```

e (); PORTD=0b00110100; // установка 8-разрядной шины
e (); PORTD=0b00000001; // очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию
while(1) {
e (); PORTC |= 1<<4; } // RS=1 (приём данных)
• для 4-разрядного режима работы:
PORTC &=~ (1<<4); // RS=0 (приём команд)
e (); PORTD=0b00100000; //установка 4-разрядной шины
// команда включения дисплея
00001111
e (); PORTD=0b00000000; //старший полубайт 0000 кода 00001111
e (); PORTD=0b11110000; //младший полубайт 1111 кода 00001111
//команда очистки дисплея и установки курсора в нулевую позицию
00000001
e (); PORTD=0b00000000; //старший полубайт 0000 кода 00000001
e (); PORTD=0b00010000; //младший полубайт 0001 кода 00000001
while(1) {
e (); PORTC |= 1<<4; } // RS=1 (приём данных)

```

В данном примере для передачи команд/данных используется порт PD микроконтроллера. Для передачи управляющих сигналов задействован ещё один порт – PC. Функция `e ()`; обеспечивает формирование тактового сигнала на линии E дисплея.

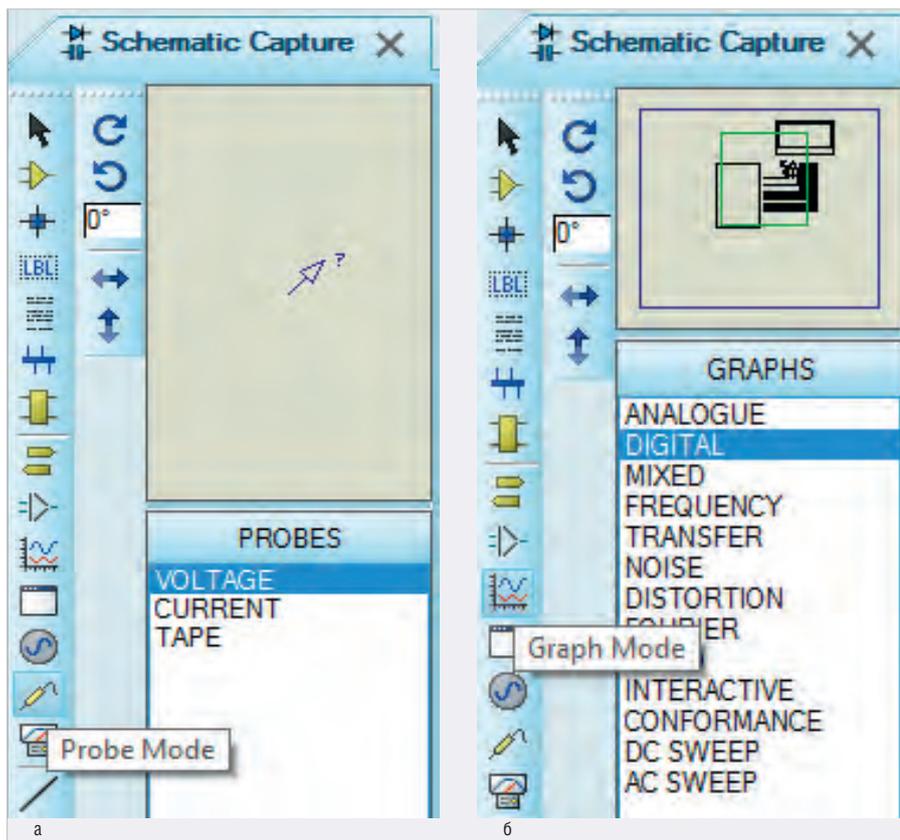


Рис. 5. Выбор: (а) пробника VOLTAGE на панели PROBES, (б) графика DIGITAL на панели GRAPHS

Контроль входных/выходных сигналов, присутствующих на выводах микроконтроллера, в нашем примере организован при помощи пробников напряжения VOLTAGE. Пробники разместим с помощью мыши до запуска процесса симуляции в тех точках схемы, за которыми мы хотим наблюдать. Выбор пробников осуществляется на панели PROBES (рис. 5а), она открывается нажатием кнопки Probe Mode на левой панели инструментов схемного редактора.

Для отображения данных, снятых пробниками со схемы, нужно добавить пробники на график, выделить его левой кнопкой мыши и выполнить моделирование командой контекстного меню Simulate Graph, которое вызывают щелчком правой кнопкой мыши. Необходимо отметить, что измерительные пробники не имеют собственной лицевой панели, как другие виртуальные приборы. А настройка их параметров осуществляется в окне свойств до запуска симуляции схемы.

Для анализа цифровых сигналов подойдёт график DIGITAL, добавление которого в рабочую область проекта выполняют выбором его названия из списка на панели GRAPHS (рис. 5б). Панель открывают нажатием кнопки Graph Mode на левой панели инструментов схемного редактора. Далее график,

который фактически является окном отображения результатов анализа, размещают с помощью мыши в необходимом месте рабочего поля программы. Для этого помещают указатель мыши в окне редактора в точку, где должен находиться верхний левый угол графика. Нажимают левую кнопку мыши и растягивают прямоугольник до того размера, который необходим для отображения результатов анализа, а затем отпускают кнопку мыши.

Для подключения измерительного пробника к схеме необходимо выбрать его название на панели PROBES, подвести курсор к месту размещения пробника и щёлкнуть левой кнопкой мыши по проводнику. В каждой схеме может использоваться много пробников, в том числе и копии одного и того же прибора. Каждая копия прибора настраивается и соединяется отдельно. Неподключённые пробники имеют по умолчанию название «?». Когда пробник присоединён к цепи, ему автоматически присваивается имя цепи, а если цепь не имеет имени, то пробник получает в качестве имени позиционное обозначение компонента или имя вывода, после которого он подключён. Также разработчик может самостоятельно присвоить пробнику имя.

Каждый график может содержать несколько диаграмм. Каждая диаграмма

отображает данные, ассоциированные с одним пробником. Таким образом, для исследования работы собранной в нашем примере схемы в рабочее поле проекта необходимо добавить пробники напряжения для контроля сигналов на линиях шины данных дисплея, а также пробники для контроля тактового сигнала на линии E дисплея и сигнала выбора регистра данных или команд дисплея.

По умолчанию названия диаграмм на графике соответствуют названиям объектов, данные которых они отображают (рис. 6). Если нужно, названия диаграмм можно изменить. Для отображения на графике данных, зафиксированных пробниками, необходимо добавить на него эти объекты. Причём график должен быть размещён в рабочем поле проекта. Для добавления пробника на график нужно левой кнопкой мыши выделить его пиктограмму на схеме и перетащить её мышью в окно графика. В результате на графике отобразится название добавленного пробника.

После создания схемы, подключения всех приборов и настройки их параметров переходят к следующему этапу разработки – написанию программного кода управления устройством в CodeVisionAVR. В результате его компиляции (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.

Создание программного кода в CodeVisionAVR

Командой основного меню File/New/Project создадим новый проект в CodeVisionAVR. В процессе создания:

- откажемся от применения генератора CodeWizardAVR для формирования программного кода, для чего в окне Confirm нажмём на кнопку No (рис. 7);
- в открывшемся окне Create New Project выберем директорию размещения нового проекта, имя проекта (поле «Имя файла»), его тип (поле «Тип файла») и нажмём кнопку «Сохранить» (рис. 8);
- в открывшемся окне New Project в поле Name выполним выбор микроконтроллера ATmega16 (рис. 9), под

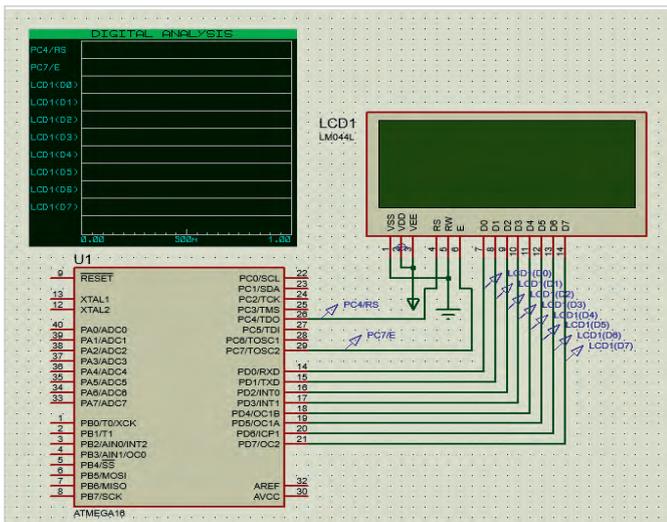


Рис. 6. Подключение пробников напряжения к схеме управления буквенно-цифровым дисплеем в 8-разрядном режиме работы и их размещение на графике

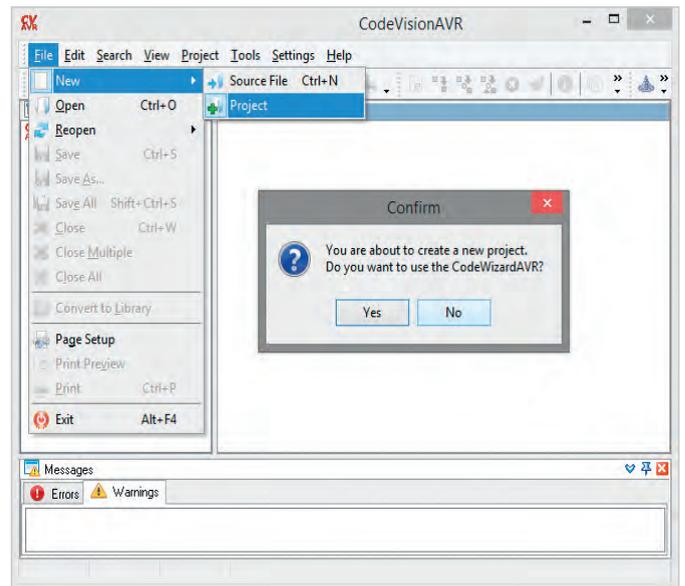


Рис. 7. Создание нового проекта в CodeVisionAVR

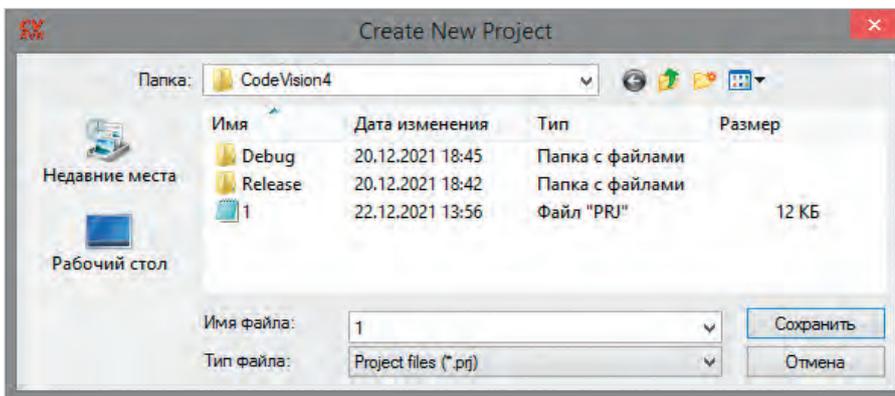


Рис. 8. Окно выбора директории размещения нового проекта Create New Project

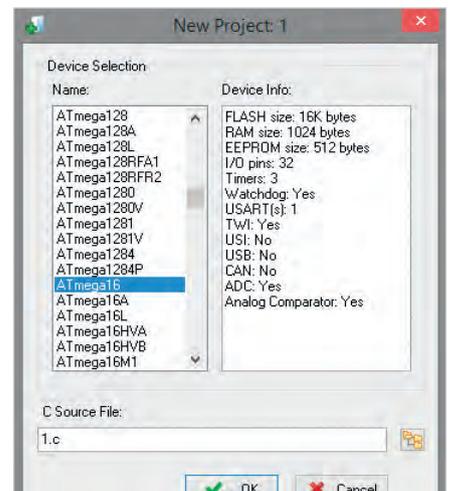


Рис. 9. Выбор микроконтроллера ATmega16 в окне New Project

управлением которого работает собранная схема (его описание отобразится в поле Device Info) и нажмём кнопку ОК;

• в открывшемся окне настройки параметров проекта CodeVisionAVR (Configure Project) перейдём на вкладку C Compiler, на которой выберем закладку Code Generation (рис. 10), где укажем:

- размер стека данных в байтах (поле Data Stack Size) – для компиляции кода в нашем примере значения 256 будет достаточно;
- размер кучи (поле Heap Size) и внутренней (поле Internal RAM Size) оперативной памяти – 0 и 1024 байт соответственно;
- тактовую частоту микроконтроллера (поле Clock) – 2 МГц;
- модель памяти (поле Memory Model) – Small.

Другие параметры оставим без изменений и нажмём на кнопку ОК. В результате будет создан новый проект CodeVisionAVR, в окне кода которого

и будет вестись дальнейшее написание программы.

Используя систему команд контроллера HD44780, напишем на языке C программу для микроконтроллера ATmega16, которая в качестве примера будет непрерывно выводить на экран дисплея, работающего в 8-разрядном режиме, строку «CodeVisionAVR». Для этого, исходя из таблицы соответствия символов английского алфавита и двоичного кода (табл. 2), представим символы строки «CodeVisionAVR» в двоичном коде:

```

C 01000011
o 01101111
d 01100100
e 01100101
v 01010110
i 01101001
s 01110011
i 01101001
o 01101111
n 01101110
A 01000001
V 01010110
R 01010010
    
```

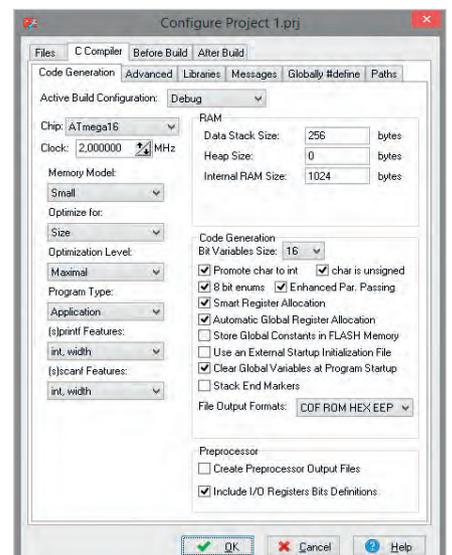


Рис. 10. Закладка Code Generation вкладки C Compiler окна настройки параметров проекта CodeVisionAVR, в котором используется микроконтроллер ATmega16

Таблица 2. Таблица соответствия символов английского алфавита и двоичного кода

Символ	Двоичный код	Символ	Двоичный код
A	01000001	a	01100001
B	01000010	b	01100010
C	01000011	c	01100011
D	01000100	d	01100100
E	01000101	e	01100101
F	01000110	f	01100110
G	01000111	g	01100111
H	01001000	h	01101000
I	01001001	i	01101001
J	01001010	j	01101010
K	01001011	k	01101011
L	01001100	l	01101100
M	01001101	m	01101101
N	01001110	n	01101110
O	01001111	o	01101111
P	01010000	p	01110000
Q	01010001	q	01110001
R	01010010	r	01110010
S	01010011	s	01110011
T	01010100	t	01110100
U	01010101	u	01110101
V	01010110	v	01110110
W	01010111	w	01110111
X	01011000	x	01111000
Y	01011001	y	01111001
Z	01011010	z	01111010

Программа вывода строки «CodeVisionAVR» на экран дисплея, работающего в 8-разрядном режиме:

```
#include <io.h>
#include <mega16.h> // подключение заголовочных файлов
#include <stdio.h> // в которых содержатся
#include <delay.h> // прототипы функций
#include <stdlib.h>

void e ( ) { // функция формирования тактового сигнала на линии E дисплея
    PORTC |= 1<<7; // устанавливаем 1 на выводе PC7 микроконтроллера
    delay_ms(40); // задержка 40 мс
    PORTC &=~ (1<<7); // устанавливаем 0 на выводе PC7 микроконтроллера
    delay_ms(40);
}

void main() { // основная функция программы
    DDRD=DDRC=0xff; // инициализация портов
    PORTD=0x00; // порт PD работает на вывод данных
    PORTC=0x00; // порт PC работает на вывод данных
```

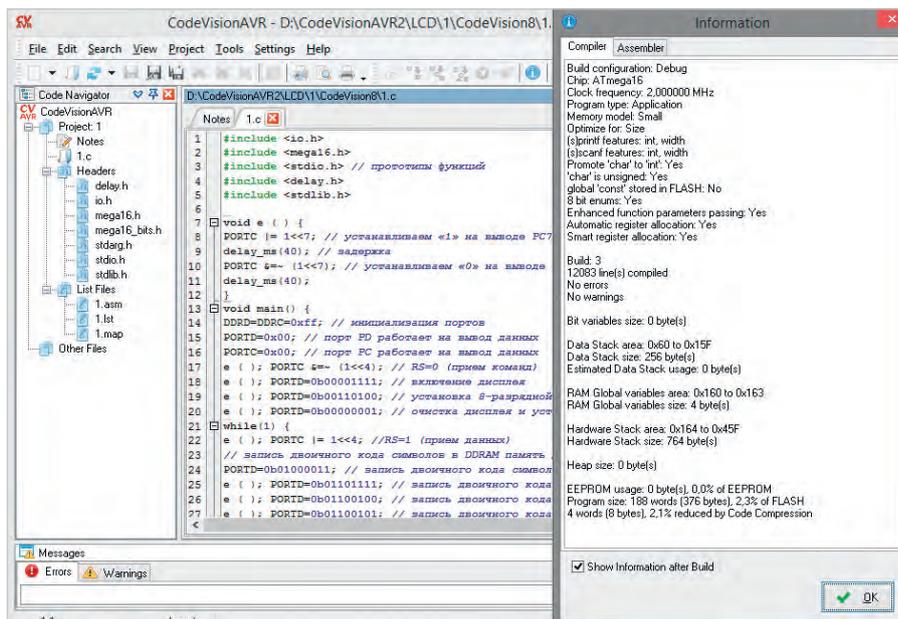


Рис. 11. Программа вывода строки на экран буквенно-цифрового дисплея в окне кода CodeVisionAVR и результат её компиляции

```
e ( ); PORTC &=~ (1<<4); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b00001111; // включение дисплея
e ( ); PORTD=0b00110100; // установка 8-разрядной шины
e ( ); PORTD=0b00000001; // очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию
while(1) {
    e ( ); PORTC |= 1<<4; // RS=1 (приём данных)
    // запись двоичного кода символов в DDRAM память
    PORTD=0b01000011; // запись двоичного кода символа С
    e ( ); PORTD=0b01101111; // запись двоичного кода символа о
    e ( ); PORTD=0b01100100; // запись двоичного кода символа d
    e ( ); PORTD=0b01100101; // запись двоичного кода символа e
    e ( ); PORTD=0b01010110; // запись двоичного кода символа V
    e ( ); PORTD=0b01101001; // запись двоичного кода символа i
    e ( ); PORTD=0b01110011; // запись двоичного кода символа s
    e ( ); PORTD=0b01101001; // запись двоичного кода символа i
    e ( ); PORTD=0b01101111; // запись двоичного кода символа о
    e ( ); PORTD=0b01101110; // запись двоичного кода символа n
    e ( ); PORTD=0b01000001; // запись двоичного кода символа A
    e ( ); PORTD=0b01010110; // запись двоичного кода символа V
```

```
e ( ); PORTD=0b01010010; // запись двоичного кода символа R
}}
```

Введём текст программы в окне кода CodeVisionAVR и запустим командой основного меню Project/Build All компиляцию, по окончании которой выдаётся отчёт о наличии ошибок в коде программы (рис. 11). При этом в группе Headers на панели Code Navigator отобразится список заголовочных файлов с расширением *.h, функции которых применяются в программе. Если ошибки не обнаружены, на диске компьютера будут созданы файлы .hex и .cof для записи в микроконтроллер.

Перейдём в редактор Schematic Capture программы Proteus, откроем окно свойств микроконтроллера и в поле Program File укажем путь к файлу прошивки на диске компьютера, полученному в результате компиляции программного кода (при условии отсутствия в коде ошибок). Кнопкой Run the simulation, расположенной в левом нижнем углу окна редактора, или командой основного меню Debug/Run Simulation запустим моделирование собранной схемы, результат которого представлен на рис. 12а.

Проанализируем работу демонстрационной схемы, представленной на рисунке 12а. В представленном примере даны указания микроконтроллеру через порт PD отправить контроллеру микросхемы LM044L кодовые комбинации команд (если на линии PC4 ноль) или данные (если на линии PC4 еди-

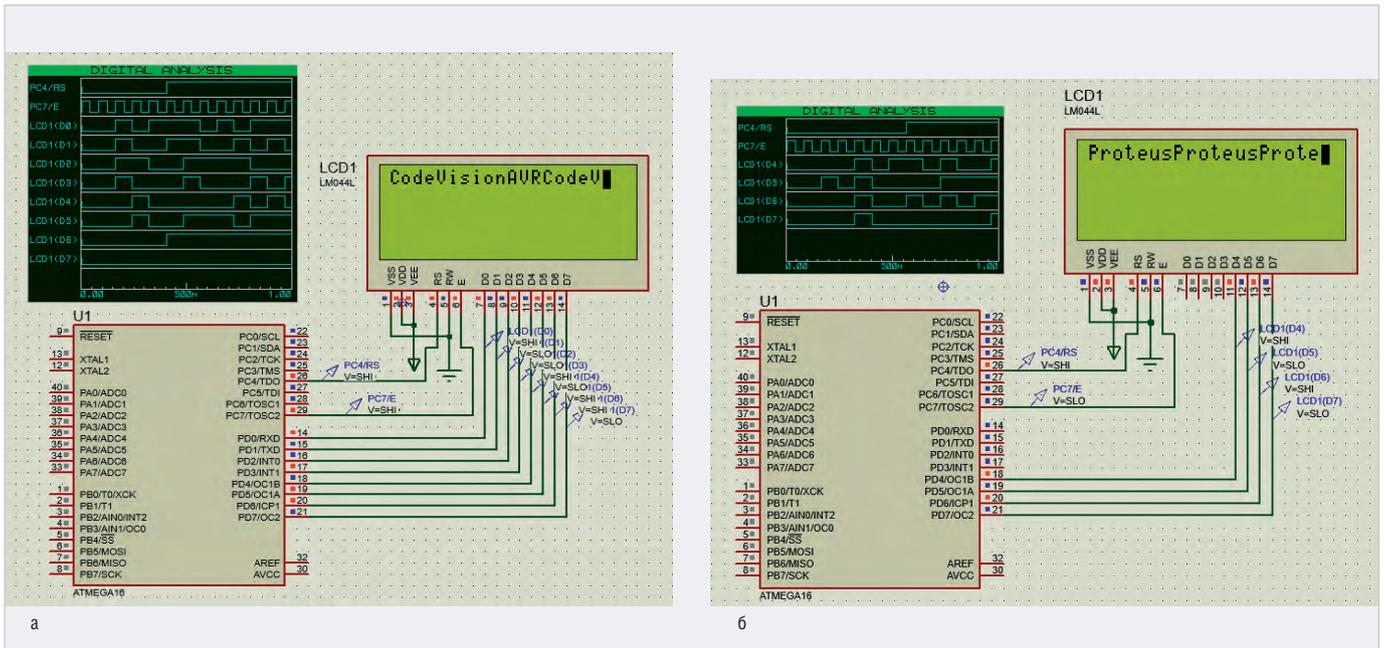


Рис. 12. Результат работы схемы управления буквенно-цифровым дисплеем: (а) в 8-разрядном режиме, (б) в 4-разрядном режиме и диаграммы сигналов, присутствующих на выводах микроконтроллера

нища). Для приёма команд/данных в микросхеме LM044L используются линии D0...D7. Управляющий сигнал с линии PC4 порта PC поступает на вывод RS микросхемы LM044L и подаётся программно. Вывод PC7 микроконтроллера подключён к выводу E микросхемы LM044L и используется для подачи тактовых импульсов.

После запуска симуляции схемы программа инициализации микроконтроллера выводит на линию PC4 логический ноль, который поступает на вывод RS микросхемы LM044L, в результате чего шина D0...D7 переходит в режим приёма следующих команд: включение дисплея, установка 8-разрядной шины, очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию. Далее программа инициализации микроконтроллера выводит на линию PC4 логическую единицу, что переводит шину D0...D7 микросхемы LM044L в режим приёма данных, запись которых выполняется побайтно в цикле. При этом на вывод E непрерывно подаётся тактовый сигнал, по заднему фронту которого микросхема LM044L считывает информацию (команды/данные). Таким образом, на экран дисплея посимвольно выводится строка, двоичные коды символов которой были поданы на шину D0...D7.

Программа вывода строки «Proteus» на экран дисплея, работающего в 4-разрядном режиме:

```
#include <io.h> // подключение заголовочных файлов
```

```
#include <mega16.h> // в которых содержатся
#include <stdio.h> // прототипы функций
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
void e ( ) { // функция формирования тактового сигнала на линии E дисплея
PORTC |= 1<<7; //устанавливаем 1 на выводе PC7 микроконтроллера
delay_ms(40); //задержка 40 мс
PORTC &=~ (1<<7); //устанавливаем 0 на выводе PC7 микроконтроллера
delay_ms(40); }

void main() {
DDRD=DDRC=0xff; // инициализация портов
PORTD=0x00; // порт PD работает на вывод данных
PORTC=0x00; // порт PC работает на вывод данных
e ( ); PORTC &=~ (1<<4); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b00100000; // установка 4-разрядной шины
// команда включения дисплея
00001111
e ( ); PORTD=0b00000000; //старший полубайт 0000 кода 00001111
e ( ); PORTD=0b11110000; //младший полубайт 1111 кода 00001111
//команда очистки дисплея и установки курсора в нулевую позицию
00000001
e ( ); PORTD=0b00000000; //старший полубайт 0000 кода 00000001
```

```
e ( ); PORTD=0b00010000; //младший полубайт 0001 кода 00000001
while(1) {
e ( ); PORTC |= 1<<4; //RS=1 (приём данных)
//запись двоичного кода символа P (01010000) в DDRAM память
//для его отображения на дисплее
PORTD=0b01010000; //старший полубайт 0101 кода 01010000
e ( ); PORTD=0b00000000; //младший полубайт 0000 кода 01010000
//запись двоичного кода символа r 01110010
e ( ); PORTD=0b01110000; //старший полубайт 0111 кода 01110010
e ( ); PORTD=0b00100000; //младший полубайт 0010 кода 01110010
//запись двоичного кода символа o 01101111
e ( ); PORTD=0b01100000; //старший полубайт 0110 кода 01101111
e ( ); PORTD=0b11110000; //младший полубайт 1111 кода 01101111
//запись двоичного кода символа t 01110100
e ( ); PORTD=0b01110000; //старший полубайт 0111 кода 01110100
e ( ); PORTD=0b01000000; //младший полубайт 0100 кода 01110100
//запись двоичного кода символа e 01100101
e ( ); PORTD=0b01100000; //старший полубайт 0110 кода 01100101
e ( ); PORTD=0b01000000; //младший полубайт 0100 кода 01100101
//запись двоичного кода символа u 01110101
```

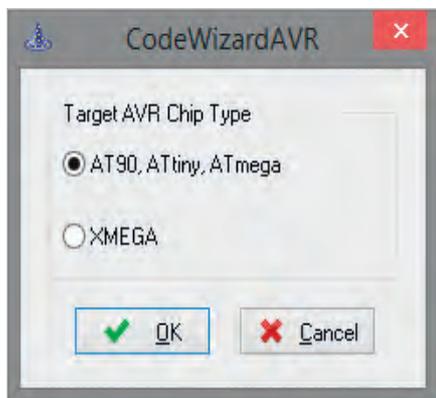


Рис. 13. Выбор типа микроконтроллера AVR

```
e ( ); PORTD=0b01110000; //стар-
ший полубайт 0111 кода 01110101
e ( ); PORTD=0b01010000; //млад-
ший полубайт 0101 кода 01110101
//запись двоичного кода символа
s 01110011
```

```
e ( ); PORTD=0b01110000; //стар-
ший полубайт 0111 кода 01110011
e ( ); PORTD=0b00110000; //млад-
ший полубайт 0011 кода 01110011
}}
```

После запуска симуляции схемы программа инициализации микроконтроллера выводит на линию PC4 логический ноль, который поступает на вывод RS микросхемы LM044L. В результате шины D0...D7 переходит в режим приёма команд, первая из которых переводит микросхему LM044L в 4-разрядный режим работы. После этого через линии D4...D7 выполняется приём команд включения дисплея, очистки дисплея и установки курсора в нулевую позицию. Запись байта команды в регистр команд выполняется в два этапа: сначала на выходы D4...D7 подаёт-

ся старший полубайт команды, затем младший. Далее программа инициализации микроконтроллера выводит на линию PC4 логическую единицу, что переводит линии D4...D7 микросхемы LM044L в режим приёма данных, запись которых выполняется в цикле следующим образом: сначала на выходы D4...D7 подаётся старший полубайт данных, затем младший.

При этом на вывод E непрерывно подаётся тактовый сигнал, по заднему фронту которого микросхема LM044L считывает информацию (команды/данные). Таким образом, на экран дисплея посимвольно выводится строка, двоичные коды символов которой были поданы на шину D4...D7 (рис. 12б).

Символы строки «Proteus» в двоичном коде:

```
P 01010000
r 01110010
o 01101111
t 01110100
e 01100101
u 01110101
s 01110011
```

В CodeVisionAVR есть инструменты, с помощью которых написание программного кода значительно упрощается, а многие операции могут быть автоматизированы. Например, с помощью функции `lcd_puts(char *str)` библиотеки `alcd.h` можно заменить представленный выше фрагмент кода вывода на экран буквенно-цифрового дисплея строки Proteus одной командой `lcd_puts(«Proteus»)`.

Применение CodeWizardAVR для формирования кода управления LCD-дисплеем

Воспользуемся для формирования программного кода управления буквенно-цифровым дисплеем генератором кода CodeWizardAVR, окно которого открывается в процессе создания командой основного меню `File/New/Project` нового проекта в CodeVisionAVR после нажатия кнопки `Yes` в окне `Confirm` (рис. 7). Перед запуском генератора будет предложено выбрать тип микроконтроллера (AT90, ATtiny, ATmega или XMEGA), что выполняется установкой переключателя в соответствующую позицию (рис. 13).

В CodeWizardAVR задают параметры микроконтроллера, его внутренних ресурсов и используемых в схеме периферийных устройств. В нашем примере это тип и частота работы микро-

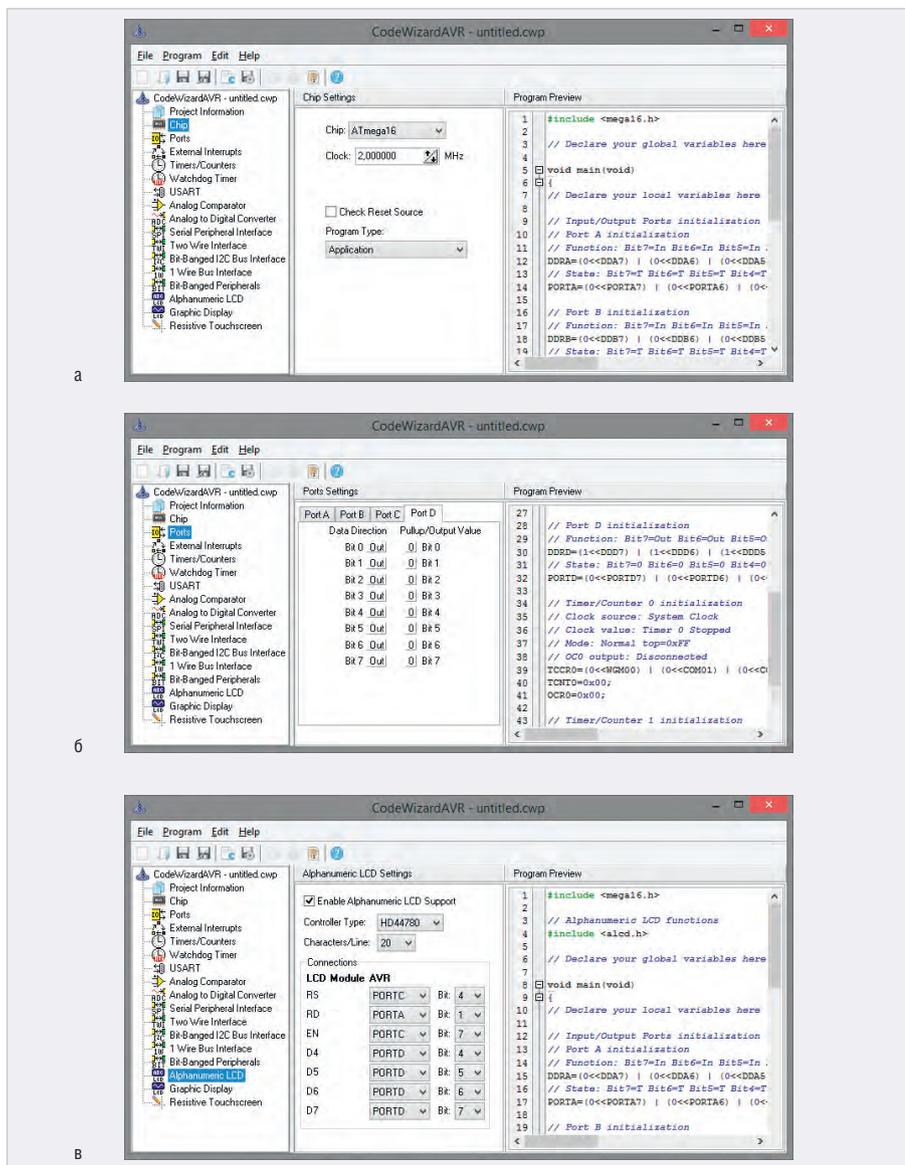


Рис. 14. Настройка в окне CodeWizardAVR параметров: (а) микроконтроллера, (б) портов ввода/вывода микроконтроллера, (в) буквенно-цифрового дисплея и подключения его выводов к микроконтроллеру

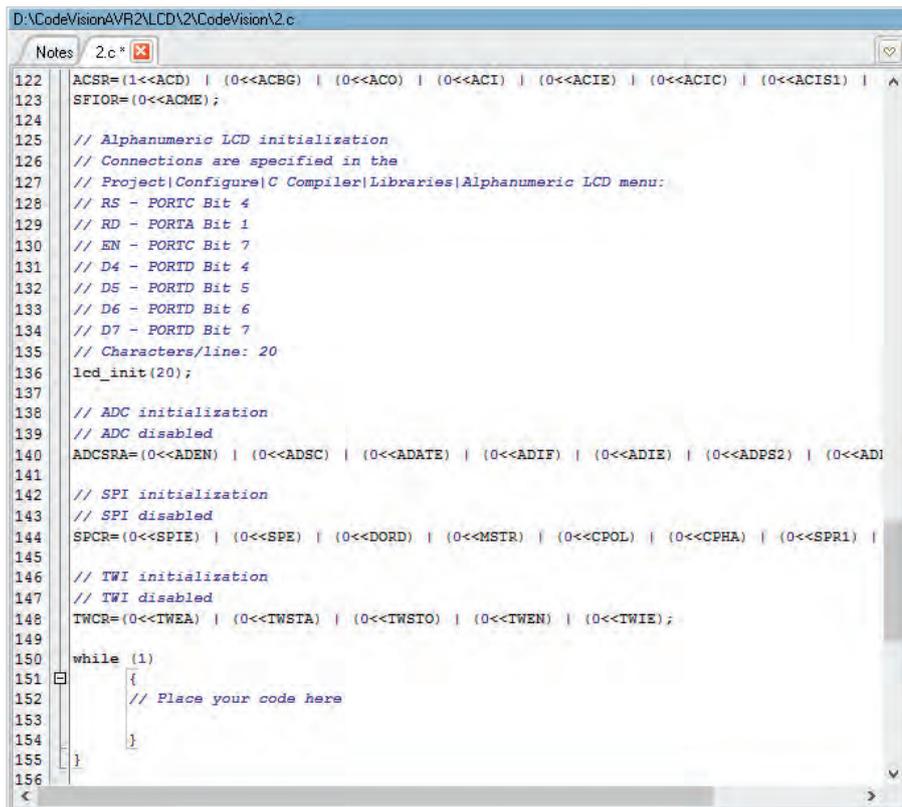


Рис. 15. Фрагмент программы, полученной с помощью генератора CodeWizardAVR, в окне кода CodeVisionAVR

контроллера (вкладка Chip Settings – рис. 14а), опции портов ввода/вывода микроконтроллера (вкладка Ports Settings – рис. 14б), буквенно-цифрового дисплея (вкладка Alphanumeric LCD Settings – рис. 14в). Важно, чтобы значение тактовой частоты микроконтроллера, указанное в поле Clock вкладки Chip Settings, совпадало со значением Clock Frequency в поле Advanced Properties его окна свойств в Proteus (в нашем примере это 2MHz).

На вкладке Ports Settings для каждого отдельного порта микроконтроллера отведена своя закладка, где в поле Direction щелчком левой кнопки мыши выбирают одно из значений битов порта: Out (линия порта работает на вывод данных), In (приём данных). В нашем примере (рис. 14б) для битов Bit 0...Bit 7 портов Port D, Port C укажем значение Out, для бита Bit 1 порта Port A – значение In.

На вкладке Alphanumeric LCD Settings (рис. 14в) установкой флажка в чекбоксе задают разрешение поддержки буквенно-цифрового дисплея (поле Enable Alphanumeric LCD Support), тип контроллера (поле Controller Type, в нашем примере – HD44780) и количество символов в строке (поле Character/Line, в нашем примере – 20). В поле Connections настраивают параметры

подключения микроконтроллера (порт и номер вывода) к микросхеме дисплея, работающего в 4-разрядном режиме. В нашем примере 4 и 7 биты порта PC микроконтроллера подключены к выводам RS и E дисплея, 4...7 биты порта PD микроконтроллера подключены к выводам D4...D7 дисплея. Вывод RD дисплея на схеме подключён к «земле», поэтому в поле Connections параметры его сопряжения с микроконтроллером можно не задавать. Если предполагается, что буквенно-цифровой дисплей будет работать в 8-разрядном режиме и написание кода программы управления будет вестись самостоятельно (так как стандартной библиотеки для этого режима в CodeVisionAVR нет), то поле Connections можно не заполнять.

Предварительный просмотр кода программы, который генерируют командой Program/Generate основного меню, выполняют в поле Program Preview. После настройки параметров и генерации кода командой Program/Generate, Save and Exit основного меню или пиктограммой Generate Program, Save and Exit верхней панели инструментов окно CodeWizardAVR автоматически будет закрыто. После выбора директории размещения нового проекта полученный код (рис. 15) отобразится в окне кода

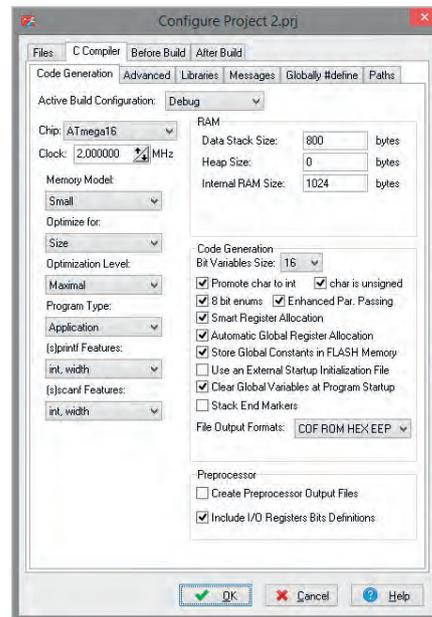


Рис. 16. Увеличение объёма стека данных до 800 байт в поле Data Stack Size закладки Code Generation окна Configure Project

CodeVisionAVR, где и будет вестись дальнейшее написание программы. При этом автоматически сгенерированный код можно откорректировать на своё усмотрение.

Прежде чем внести изменения в полученный код в CodeVisionAVR, увеличим размер стека. Для этого командой Project/Configure основного меню откроем окно Configure Project, перейдём на вкладку C Compiler, где откроем закладку Code Generation и в поле Data Stack Size укажем размер стека в байтах – для компиляции кода в нашем примере значения 800 будет достаточно (рис. 16).

Применение функций библиотеки alcd.h для формирования кода управления LCD-дисплеем

Напишем на языке C программу для микроконтроллера ATmega16, которая в качестве примера будет выводить на экран дисплея строку WARNING! (если на линии PA1 микроконтроллера единица) и строку __OKey__ (если на линии ноль). Для формирования управляющего сигнала в нашем примере в схему добавлен датчик касания TOUCHPAD, который находится в библиотеке компонентов Miscellaneous программы Proteus (рис. 17а). Датчик может работать в качестве сенсорной кнопки или сигнализировать о касании к устройству. Для работы с датчиком касания настроим линию PA1 на чтение данных, полученных от внешнего устройства, которые будут

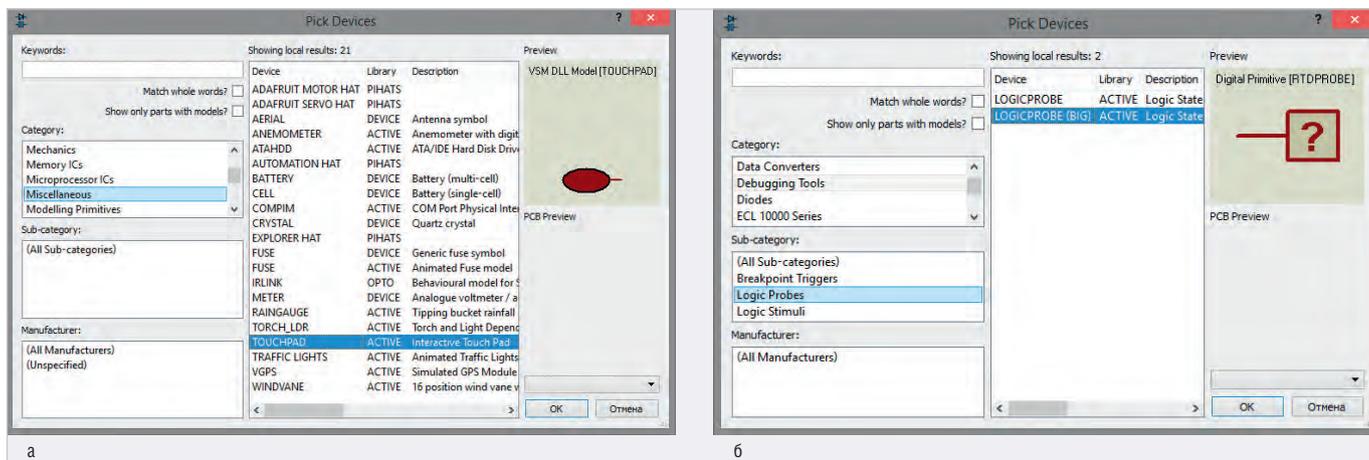


Рис. 17. Выбор в Proteus: (а) датчика касания TOUCHPAD из библиотеки Miscellaneous, (б) пробника логических уровней 0 и 1 LOGICPROBE (BIG) из раздела Logic Probes библиотеки Debugging Tools

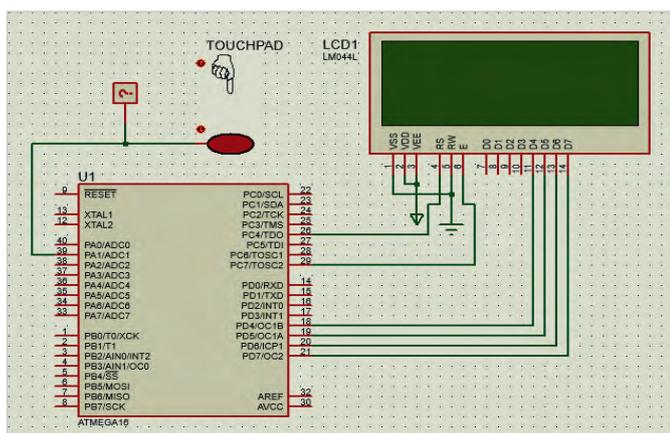


Рис. 18. Сопряжение буквенно-цифрового дисплея LM044L, микроконтроллера ATmega16 и датчика касания в схемном редакторе Proteus

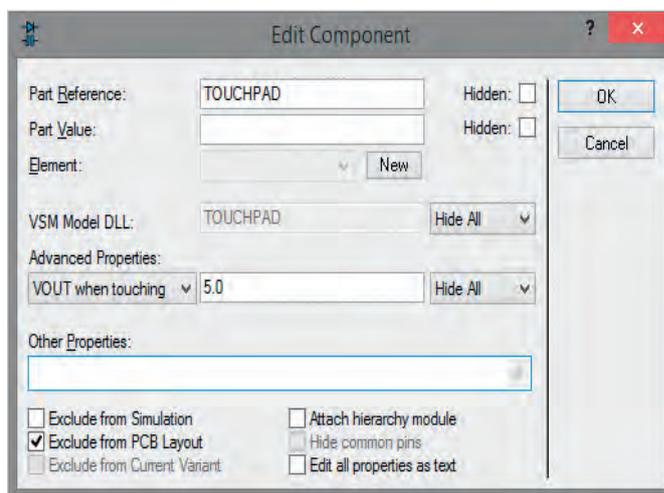


Рис. 19. Окно свойств датчика касания

записаны в переменную res. Нажатие датчика приводит к появлению на линии PA1 логической единицы, иначе на линии PA1 логический ноль. Для визуального отображения сигнала на линии воспользуемся цветным пробником логических уровней 0 и 1, который в программе Proteus представлен компонентами LOGICPROBE и LOGICPROBE (BIG) из раздела Logic Probes библиотеки Debugging Tools (рис. 17б). В нашем примере для контроля входного сигнала на линии PA1 микроконтроллера добавим в рабочее поле проекта компонент LOGICPROBE (BIG) и подключим его выход к выводу PA1 так, как показано на рис. 18. В результате при появлении на входе PA1 значения логической единицы пробник будет подсвечен красным цветом, при появлении же значения логического нуля пробник будет подсвечен синим цветом. Также на пробнике визуально отображаются значения 0 и 1. Напряжение, выдаваемое датчиком при нажатии (VOUT when touching), в

нашем примере 5 В – указывают в поле Advanced Properties окна его свойств (рис. 19), которое открывают щелчком правой кнопки мыши по пиктограмме датчика на схеме контекстного меню и выбором в нём команды Edit Properties. Для работы с буквенно-цифровым дисплеем в CodeVisionAVR предусмотрена библиотека alcd.h, которая содержит функции вывода символов на экран дисплея, среди которых:

- void char lcd_init(unsigned char lcd_columns) – инициализация буквенно-цифрового дисплея, очистка экрана и установка курсора в позицию 0, 0. Параметр lcd_columns – количество столбцов дисплея;
- void lcd_clear(void) – очистка экрана и установка курсора в позицию 0, 0;
- void lcd_gotoxy(unsigned char x, unsigned char y) – установка курсора в позицию x, y экрана, где x – это номер столбца, y – номер строки;
- void lcd_putchar(char c) – вывод символа c на экран в текущую позицию курсора;

- void lcd_puts(char *str) – функция выводит строку str, расположенную в SRAM на экран, начиная с текущей позиции курсора;
- void lcd_putsf(char flash *str) – функция выводит строку str, расположенную во FLASH на экран, начиная с текущей позиции курсора;
- void lcd_putse(char eeprom *str) – функция выводит строку str, расположенную в EEPROM на экран, начиная с текущей позиции курсора.

Применение функций рассмотрим на примере вывода на экран буквенно-цифрового дисплея графической и текстовой информации, формирующих предупреждающие сообщения, оповещающие о нажатии датчика касания.

Текст программы:

```
#include <mega16.h> // подключение заголовочных файлов
#include <alcd.h> // в которых содержатся
#include <stdio.h> // прототипы функций
#include <delay.h>
```

```
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
// функция отрисовки рамки на
экране буквенно-цифрового дисплея
void рамка()
{ int i;
  lcd_clear( ); // очистка экра-
на дисплея
  i=0;
  // отрисуем верхнюю сторону рамки
  while( 1 ) // выполняем цикл, пока
не будет достигнуто
// условие i==20 (ширина рамки 20
знакомест)
  { i++; // устанавливаем курсор
на следующую позицию нулевой стро-
ки экрана
  lcd_gotoxy( i-1,0 );
  lcd_putchar( 0xff ); // выводим
на экран символ заполненного зна-
коместа,
  // 0xff - код символа из таблицы
кодов символов
  if( i==20 ){ break; } // выход из
цикла while, если курсор достиг 19
столбца нулевой строки
  }
  delay_ms(40); // задержка 40 мс
  // отрисуем левую боковую сторо-
ну рамки
  lcd_gotoxy( 0,1 );
  lcd_putchar( 0xff );
  lcd_gotoxy( 0,2 );
  lcd_putchar( 0xff );
  delay_ms(40);
  i=0;
  // отрисуем нижнюю сторону рамки
  while( 1 ) // выполняем цикл, пока
не будет достигнуто условие i==20
  {i++; // устанавливаем курсор на
следующую позицию третьей строки
экрана
  lcd_gotoxy( i-1,3 );
  lcd_putchar( 0xff ); // выводим
на экран символ заполненного зна-
коместа 0xff
  if( i==20 ){ break; } // выход из
цикла while, если курсор достиг 19
столбца третьей строки
  }
  delay_ms(40); // задержка 40 мс
  // отрисуем правую боковую сто-
рону рамки
  lcd_gotoxy( 19,1 );
  lcd_putchar( 0xff );
  lcd_gotoxy( 19,2 );
  lcd_putchar( 0xff );
  delay_ms(40);
  }

void main(void) // основная функ-
ция программы
```

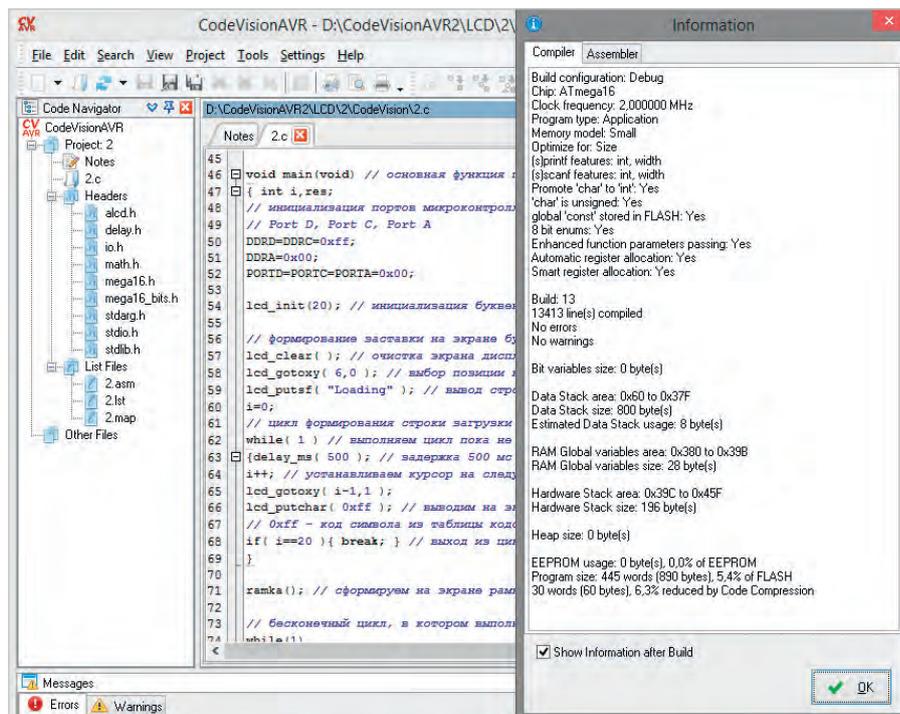


Рис. 20. Результат компиляции программного кода индикации состояния датчика касания в CodeVisionAVR

```
{ int i, res;
  // инициализация портов микрокон-
троллера
  // Port D, Port C, Port A
  DDRD=DDRC=0xff;
  DDRA=0x00;
  PORTD=PORTC=PORTA=0x00;

  lcd_init(20); // инициализация
буквенно-цифрового дисплея

  // формирование заставки на экра-
не буквенно-цифрового дисплея
  lcd_clear( ); // очистка экра-
на дисплея
  lcd_gotoxy( 6,0 ); // выбор пози-
ции курсора (6 столбец, 0 строка)
  lcd_putsf(«Loading»); // вывод
строки, начиная с текущей позиции
курсора
  i=0;
  // цикл формирования индикатора
загрузки
  while( 1 ) // выполняем цикл, пока
не будет достигнуто условие i==20
  {delay_ms( 500 ); // задержка 500
мс
  i++; // устанавливаем курсор на
следующую позицию первой строки
экрана
  lcd_gotoxy( i-1,1 );
  lcd_putchar( 0xff ); // выводим
на экран символ заполненного зна-
коместа,
  // 0xff - код символа из таблицы
кодов символов
```

```
if( i==20 ){ break; } // выход из
цикла while, если курсор достиг 19
столбца первой строки
  }
  рамка(); // сформируем на экра-
не рамку

  // бесконечный цикл, в кото-
ром выполняется опрос датчика
касания
  while(1)
  {
  // запись сигнала, полученного с
линии PA1 микроконтроллера, в пере-
менную
  res=PINA.1;
  if (res==1) { // если на линии
PA1 логическая единица
  lcd_gotoxy( 6,1 ); // выбор пози-
ции курсора (6 столбец, 1 строка)
на экране дисплея
  lcd_puts(«WARNING!»); // вывод
предупреждающего сообщения на
экран
  delay_ms(40); // задержка 40 мс
  }
  else // иначе, если на линии PA1
логический ноль
  {
  lcd_gotoxy( 5,1 ); // выбор пози-
ции курсора (5 столбец, 1 строка)
  lcd_puts(«__OKey__»); // вывод
сообщения на экран
  delay_ms(40); // задержка 40 мс
  }
  }
```

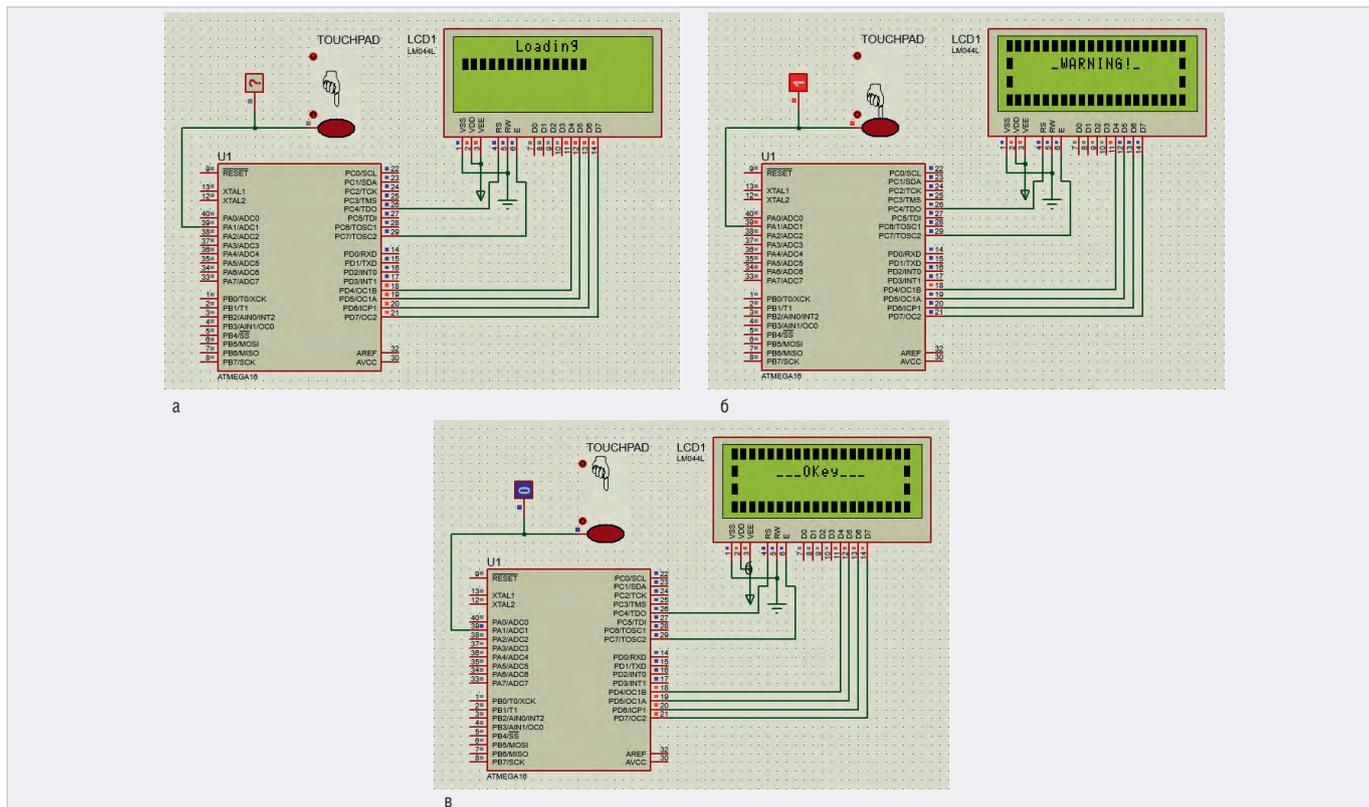


Рис. 21. Результат работы программы индикации состояния датчика TOUCHPAD в Proteus: (а) отображение анимированной заставки в виде строки загрузки на экране дисплея, (б) предупреждающие сообщения на экране буквенно-цифрового дисплея, когда сенсорная кнопка датчика касания нажата или (в) отжата

LUMINEQ

POWERED BY ВЕПАК

ДИСПЛЕИ ДЛЯ

от -50°C

Реклама

WWW.PROSOFT.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

Введём текст программы в окне кода CodeVisionAVR и запустим командой основного меню Project/Build All компиляцию, по окончании которой выдаётся отчёт о наличии ошибок в коде программы (рис. 20). Если ошибки не обнаружены, на диске компьютера будет создан исполняемый файл для записи в микроконтроллер. Теперь перейдём в Proteus и в окне свойств микросхемы ATmega16 укажем путь к файлу прошивки на диске компьютера (в нашем примере к файлу с расширением .hex). Командой основного меню Debug/Run Simulation запустим симуляцию собранной схемы, результат которой представлен на рис. 21 (а, б, в), и проанализируем её работу.

После запуска моделирования программа микроконтроллера выполняет инициализацию его портов и буквенно-цифрового дисплея. Затем на экране дисплея отображается заставка в виде индикатора загрузки (рис. 21а). Формирование индикатора осуществляется последовательным заполнением первой строки экрана дисплея в позициях 0...19 символами █ – заполнен-

ное знакоместо (шестнадцатиричный код такого символа – 0xff). В нулевой строке экрана отображается надпись Loading, вывод которой осуществляется с помощью функций lcd_gotoxy (выбор позиции курсора на экране) и lcd_putsf (вывод строки, начиная с текущей позиции курсора). Затем дисплей очищается, и на экране отображается рамка. Команды формирования рамки собраны в отдельной функции ramka(), инициализация которой выполнена в начале программы. Далее запускается цикл while(1), где непрерывно ведётся опрос линии PA1 микроконтроллера, подключённой к выводу данных датчика касания, и обработка двух условий. Для каждого условия происходит формирование оповещающего сообщения (WARNING! или __OKey__), которое отображается на экране дисплея. Появление на линии логической единицы (истинно первое условие) означает, что сенсорная кнопка датчика нажата (рис. 21б). Когда на линии логический ноль (истинно второе условие) – кнопка датчика отжата (рис. 21в).

Проанализировав способы формирования программного кода управле-

ния буквенно-цифровым дисплеем в представленных выше примерах, можно прийти к выводу, что применение специальных инструментов (таких как генератор кода CodeWizardAVR и функции стандартных библиотек) расширяет возможности программы CodeVisionAVR, облегчает написание и позволяет существенно сократить объём кода программы инициализации микроконтроллера и время её выполнения.

Литература

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



ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ

до +85°C

Основные свойства электролюминесцентных дисплеев

- Кристальная чёткость изображения. Отсутствует размытость изображения движущегося объекта при температуре –60°C
- Широкий угол обзора – свыше 160°
- Время отклика менее 1 мс
- Средний срок безотказной работы более 116 000 часов
- Срок эксплуатации не менее 11 лет при потере яркости 25–30%
- Устойчивость к ударным и вибрационным воздействиям
- Низкий уровень электромагнитного излучения
- Компактный корпус и оформление

Области применения

- Специальная техника
- Транспортные средства
- Промышленное оборудование
- Медицинские приборы
- Аппаратура морской техники

POWERED BY BENEQ

МОСКВА
(495) 234-0636
info@prosoft.ru

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

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 356-5111 (951) 811-7945
info@prosoftsystems.ru ekaterinburg@regionprof.ru



Реклама

Этапы работы с многоплатным проектом в САПР Delta Design

Иван Волков

В статье рассмотрен процесс создания в САПР Delta Design проекта с несколькими печатными платами – от разработки электрической схемы до трассировки ПП.

Введение

Увеличение сложности разрабатываемых устройств требует от САПР больше функциональных возможностей. Прекрасным примером является необходимость работы в рамках одного проекта с несколькими печатными платами. Многоплатный проект позволяет вести разработку не отдельной печатной платы, а устройства целиком.

САПР Delta Design обеспечивает полный цикл проектирования изделий РЭА любой сложности: от создания библиотеки электронных компонентов до выпуска конструкторской и производственной документации. В настоящий момент функциональность работы с многоплатными проектами в Delta Design в явном виде не поддерживается, однако существующий набор инстру-

ментов позволяет упростить работу над подобными сложными проектами.

В САПР Delta Design разработка сложного проекта упрощается наличием блочной системы. Вместо того чтобы размещать всю схему устройства на один лист, его следует разбить на блоки, которые могут обладать собственными УГО.

Варианты работы с многоплатным проектом в САПР Delta Design

Возможны два варианта работы по реализации многоплатных проектов в существующей версии Delta Design. Первый – с использованием иерархических блоков, второй – с использованием встроенных блоков.

Рассмотрим, что из себя представляет блок как сущность в рамках САПР Delta Design.

Иерархический блок

Иерархический блок (далее блок в данном разделе) – это возможность создания иерархической схемы, когда на схеме верхнего уровня блок (устройство, имеющее принципиальную схему) обозначается с помощью одного УГО. Такой блок располагается на отдельном листе схемы.

Блок создаётся из дерева проектов на панели «Проекты». Чтобы создать схемотехнический блок, необходимо выполнить следующие действия.

1. Выбрать активный проект в дереве проектов на панели «Проекты» и перейти на узел «Состав» (рис. 1).
2. Вызвать контекстное меню с узла «Состав» и выбрать пункт «Создать блок...» (рис. 1).
3. На экране отобразится окно «Создание блока» (рис. 2). В поле «Название блока» необходимо задать имя для блока.
4. Блоку можно присвоить десятичный номер. Для этого необходимо поставить флаг в поле «Децимальный номер» и задать номер в поле для ввода (рис. 2).
5. После того как блок был создан, в рабочей области откроется схемотехнический редактор для разработки электрической схемы блока (рис. 3). Блоки, которые имеют свою принципиальную схему, могут создаваться по принципу вложенности (рис. 4).

Встроенные блоки

Встроенные блоки могут представлять собой устройство или функциональную группу, не имеющую самостоятельной принципиальной схемы. Они обычно используются для размещения повторяющихся участков на схеме. Принципиальным отличием встроенного блока является то, что он не имеет принципиальной схемы и располагается на том же листе, что и сама схема.

Встроенный блок может быть размещён на схеме как верхнего уровня, так и нижнего уровня. Так как внутри встроенного блока невозможно создать блок, то к нему неприменимо понятие «родительского» блока и т.п., соответственно, к нему нельзя применить принцип вложенности и выстраивать иерархию (рис. 5).

Создание встроенного блока

При открытом документе Схемотехнического редактора из главного меню

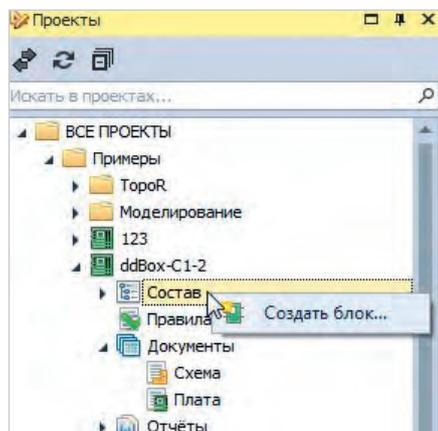


Рис. 1. Выбор активного проекта и создание блока

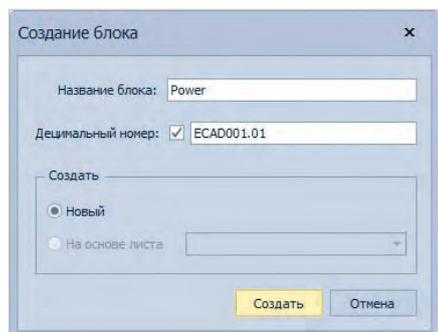


Рис. 2. Окно «Создание блока»

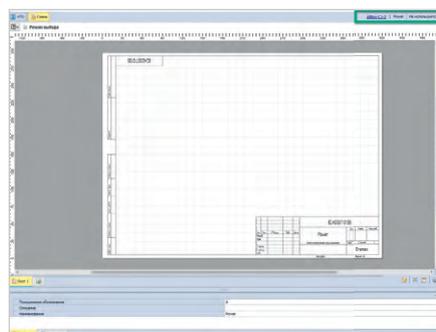


Рис. 3. Редактор иерархического блока

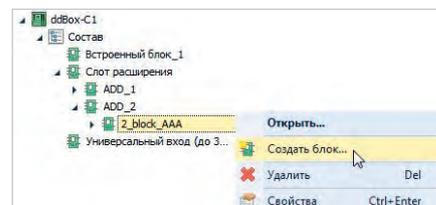


Рис. 4. Принцип вложенности при создании блоков разных уровней

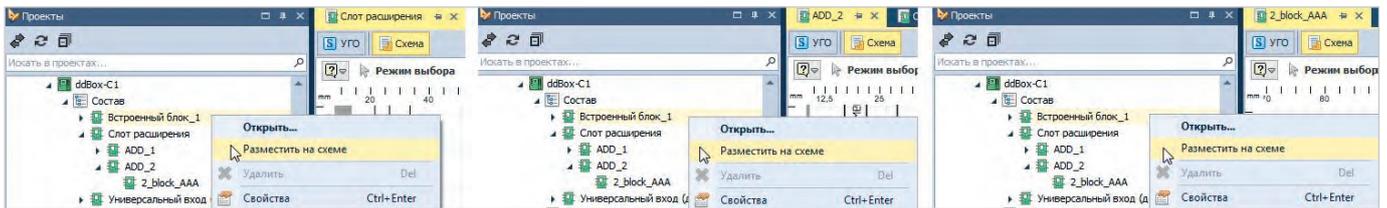


Рис. 5. Размещение встроенного блока

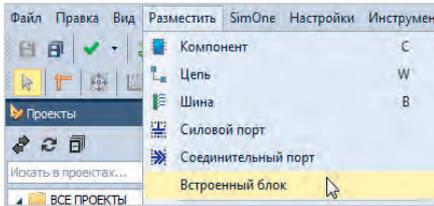


Рис. 6. Разместить встроенный блок

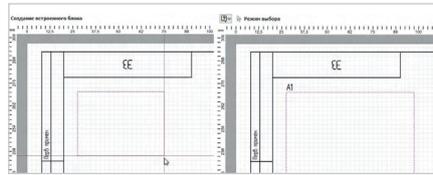


Рис. 7. Размещения блока (слева).
Размещённый блок (справа)

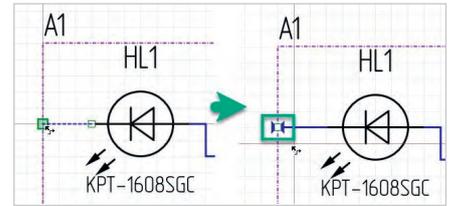


Рис. 8. Завершение цепи на границе блока

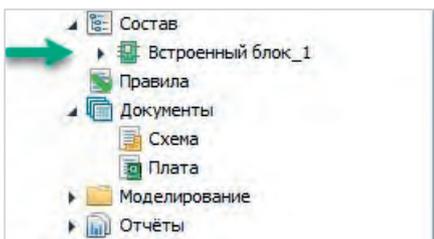


Рис. 9. Отображение блока в составе проекта

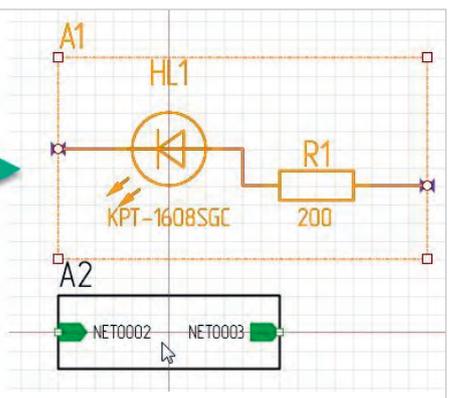
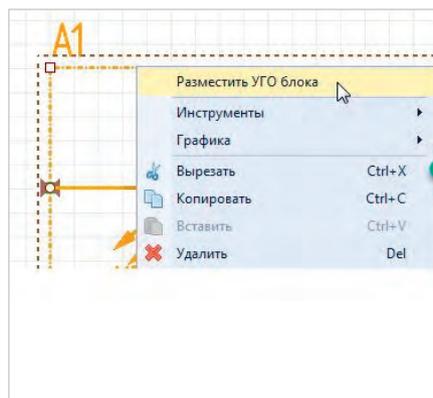


Рис. 11. Размещение УГО блока со схемы

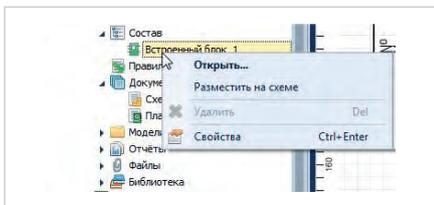


Рис. 10. Контекстное меню для блока

в разделе «Разместить» выбрать «Встроенный блок» (рис. 6).

Далее с помощью инструмента необходимо разместить прямоугольную область нужного размера. После размещения область будет иметь позиционное обозначение по умолчанию «A1», которое можно будет в дальнейшем отредактировать (рис. 7).

Далее необходимо разместить компоненты из библиотеки внутри прямоугольника блока. При размещении цепи, выходящей из блока, цепь следует завершать на границе блока. Символ, появившийся на границе блока, является блочным портом. При построении схемы с участием блока необходимо соединять цепи, используя блочный порт (рис. 8). После сохранения схемы блок отобразится в дереве проекта (рис. 9). Автоматически ему будет присвоено название, которое впоследствии можно будет изменить.

Из контекстного меню в дереве проекта данный блок возможно

открыть для дальнейшего редактирования либо размещения на схеме (рис. 10).

В данном случае редактирование и размещение происходит, как и в случае с обычным блоком. После сохранения непосредственно со схемы возможно размещение данного блока в виде УГО из контекстного меню (рис. 11).

При этом нумерация компонентов производится в соответствии с требованиями ГОСТ, а схему блока возможно редактировать непосредственно на общей принципиальной схеме с сохранением её целостности. Перейти к просмотру и редактированию схемы блока можно из контекстного меню с УГО блока (рис. 12).

Способы создания многоплатных проектов с помощью инструментов блоков САПР Delta Design

В данном разделе продемонстрируем реализацию многоплатных проектов с помощью вышеописанных блочных структур.

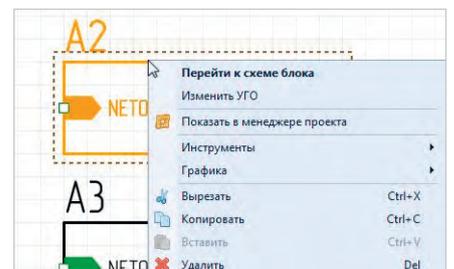


Рис. 12. Вызов просмотра и редактирования УГО блока

Создание многоплатного проекта с использованием иерархических блоков

Для примера возьмём проект устройства, которое состоит из трёх печатных плат, соединённых между собой кабельной сборкой.

На схеме Э4 будет отображено подключение всех печатных плат данного устройства. Создаём проект для устройства целиком, который будет называться «Общий проект» (рис. 13).

В данном проекте создаём иерархические блоки A1, A2, A3, которые будут представлять печатные платы со своей схемой Э3 и УГО для отображения на схеме соединений Э4 (рис. 14).

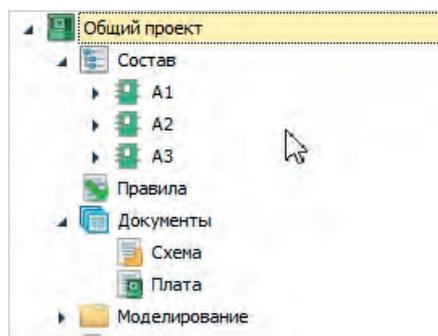


Рис. 13. Файл многоплатного проекта «Общий проект»

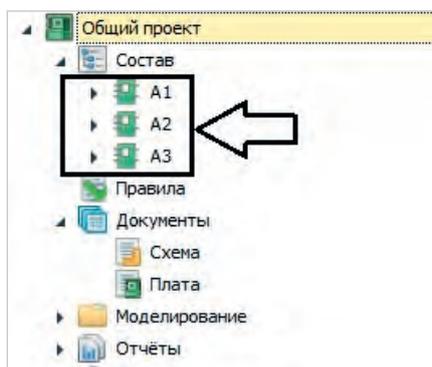


Рис. 14. Иерархические блоки в проекте

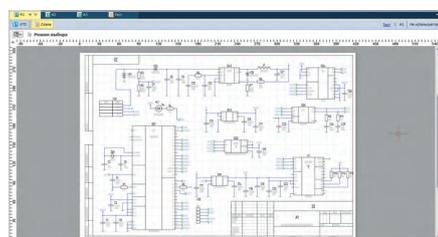


Рис. 15. Схема электрическая принципиальная блока A1

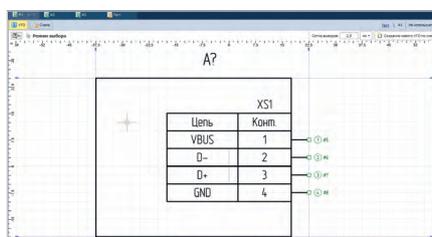


Рис. 16. УГО блока A1

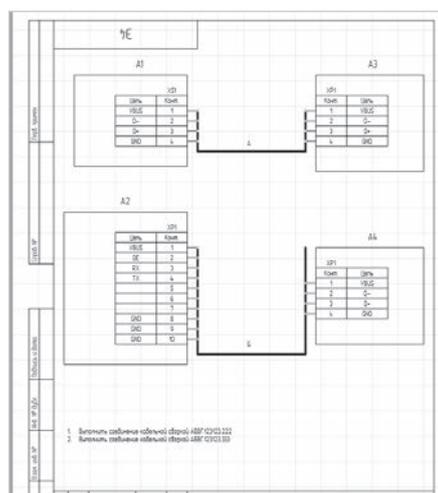


Рис. 17. Схема 34 общего проекта

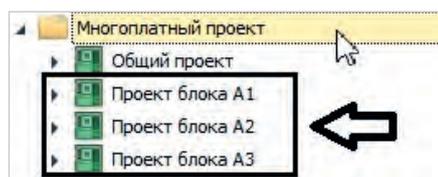


Рис. 18. Создание проектов под каждую печатную плату общего проекта

Размещаем компоненты и соединяем их между собой. Схема электрическая принципиальная ЭЗ для иерархического блока A1 готова (рис. 15).

В редакторе создаём УГО для нашего иерархического блока A1 (рис. 16).

Для блоков A2 и A3 повторяем операции с созданием схемы электрической принципиальной ЭЗ и УГО согласно пункту «Создание многоплатного

проекта с использованием иерархических блоков».

Далее переходим на схему Э4 единого проекта. После размещения УГО иерархических блоков соединяем их графической линией. В будущем планируется добавить инструмент для определения соединения как кабель, провод или жгут согласно ГОСТ 2.702.

Цепи «А» и «Б» представляют собой кабельные сборки (рис. 17).

Переход к созданию индивидуальных проектов для каждой схемы ЭЗ блоков общего проекта

Для трассировки схема каждого из блоков будет перенесена в индивидуальный проект САПР Delta Design (рис. 18). Это связано с тем, что САПР Delta Design в одном проекте позволяет работать только над одним файлом печатной платы.

Перенос данных схемы производится через операцию «копировать – вставить». Рекомендуем использовать комбинацию клавиш «ctrl + a» для осуществления выбора всех компонентов на схеме для их дальнейшего копирования в буфер. Потеря каких-либо данных сводится к нулю.

Создаём индивидуальные проекты под каждый блок (рис. 19).

Так мы сможем задавать индивидуальные настройки для каждой платы, которая будет входить в состав общего устройства. Например, количество

слоёв заготовки и набор переходных отверстий.

Для удобства хранения индивидуальных проектов создаётся общая папка, в которой будут храниться все данные. На рис. 18 показана общая папка для проектов «Многоплатный проект», которая содержит в себе все рабочие файлы.

Копируем схему ЭЗ блока A1 из общего проекта в индивидуальный проект (рис. 19).

Перенос схем ЭЗ блоков A2 и A3 в их индивидуальные проекты осуществляется согласно пункту «Переход к созданию индивидуальных проектов для каждой схемы ЭЗ блоков общего проекта».

Производим трассировку печатной платы в рамках индивидуальных проектов для блоков A1, A2, A3.

Результат трассировки плат проекта блоков A1, A2, A3 (сверху вниз) (рис. 20).

Генерируем иерархический перечень элементов общего многоплатного проекта

Переходим в общий проект и выбираем пункт генерации иерархического перечня элементов (рис. 21). В таком перечне блоки A1, A2, A3 будут отображены с их содержимым.

По результатам сборки файла перечня элементов получаем итоговый документ, который доступен как для редактирования, так и для печати (рис. 22).

Создание многоплатного проекта с использованием встроенных блоков

Один проект – один файл печатной платы.

Создаем схему ЭЗ для каждой печатной платы. Делаем это через встроенные блоки, которые выполняют роль логического разделителя функционала схем друг от друга. В нашем примере соответствие встроенный блок – схема следующее (рис. 23):

- блок A1 – схема ЭЗ № 1;
- блок A2 – схема ЭЗ № 2;
- блок A3 – схема ЭЗ № 3.

В результате мы получим многостраничную схему ЭЗ, где на каждом листе будет размещён встроенный блок, представляющий печатную плату.

Следующим шагом является создание контуров наших печатных плат. Контуров печатных плат создаются в одном файле редактора печатной платы.

Данное решение временное, так как в дальнейшем планируется добавить возможность содержать в про-

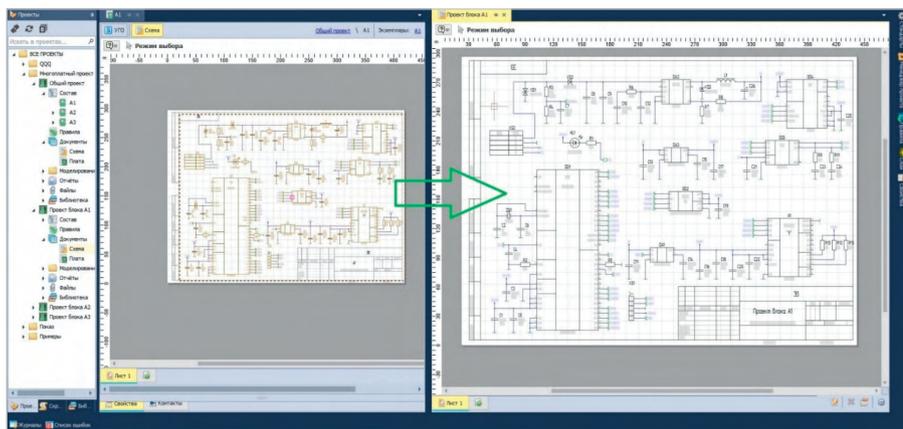


Рис. 19. Перенос схемы из блока A1 общего проекта в индивидуальный проект A1 для дальнейшей трассировки

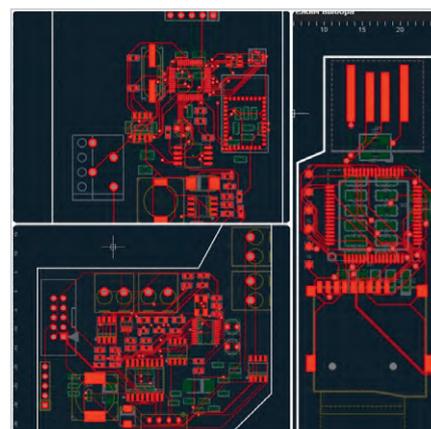


Рис. 20. Трассировка платы индивидуального проекта A1, A2, A3 (сверху вниз)

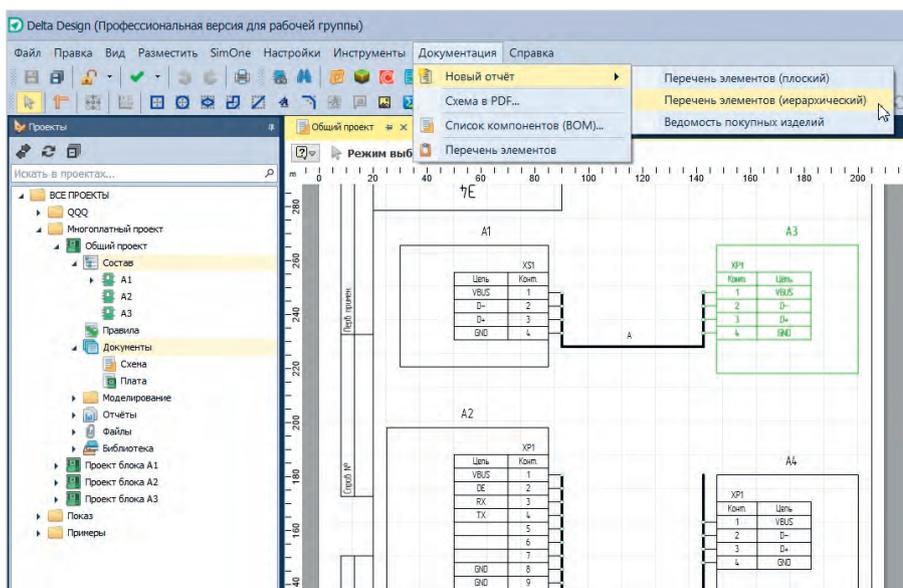


Рис. 21. Генерация иерархического перечня элементов общего проекта согласно схеме 34

Идентификатор	Наименование	Кол.	Примечание
A1	A1	1	
A1	LPF025H-3.3	1	
Компоненты			
C1	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	1	
C2	C_0603 NPO 15 нФ 50 В	1	
C3	C_0603 X7R 10 нФ 50 В	1	
C4,C5	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	2	
D6	C_0603 NPO 15 нФ 50 В	1	
C7	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	1	
D8,D9	C_0603 X7R 1 нФ 50 В	2	
C10	C_0603 X7R 33 нФ 50 В	1	
C11	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	1	
C12	C_0603 NPO 150 нФ 50 В	1	
D10	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	1	
T16,T18	C_0603 X7R 10 нФ 50 В	2	
T16,T17	C_0603 XSR 2,2 нФ 10 В	2	
T16,T19	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	2	
C20	C_0603 XSR 2,2 нФ 10 В	1	
C21	200033010000027F3	1	
C22,C23	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	2	
C24,C25	C_0603 NPO 500 нФ 50 В	2	
C26	C_0603 X7R 100 нФ 25 В	1	
Максимальное количество			
G41	LPF025H-3.3	1	

Рис. 22. Первый лист из шести перечня элементов общего проекта

екте несколько файлов печатных плат. Также очень важным является расположение контуров плат по диагонали. Это позволит создать КД и гербер-файлы на каждую плату (рис. 24).

При запуске проверки DRC программа выдаст предупреждение о незамкнутом контуре печатной платы, но в данном случае его можно смело проигнорировать.

Размещаем компоненты схем в редакторе печатной платы. Здесь доступны два варианта для пользователя: размещение сразу всех компонентов блока на соответствующий контур ПП (рис. 25) или покомпонентное размещение, начиная с блока № 1.

Таким образом, каждый блок будет размещён в своём контуре ПП (рис. 26). Нам остаётся только произвести разводку проводников и приступить к подготовке КД и производственных файлов.

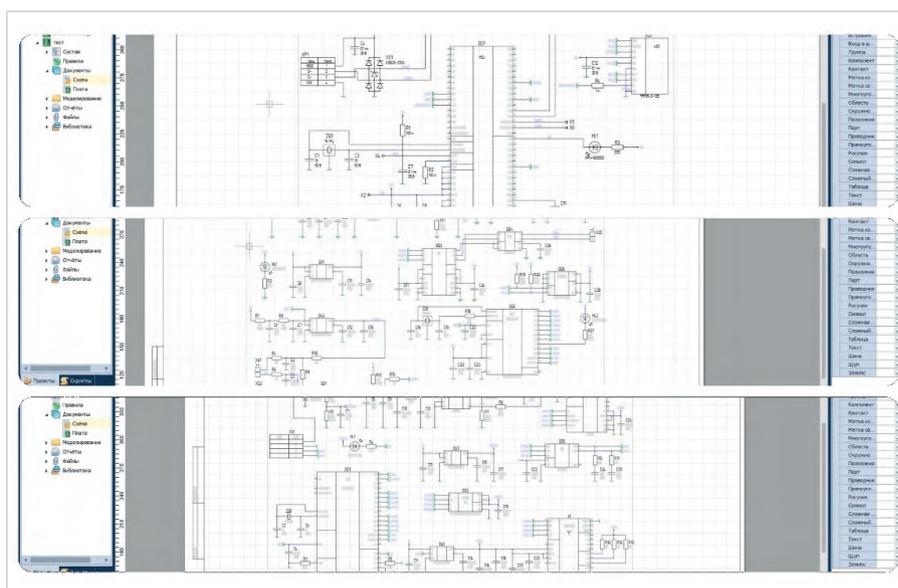


Рис. 23. Схемы электрические принципиальные блоков A1, A2, A3

Трассируем наши печатные платы. Соединения, которые будут выполняться в виде кабеля (жгута), игнори-

руем и не разводим. Так как САПР Delta Design не выполняет функции кабель-менеджмента, данный функционал

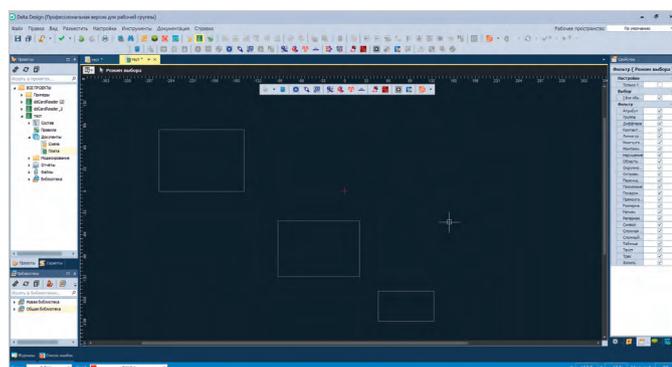


Рис. 24. Редактор печатной платы с контурами будущих печатных плат по схеме 34 общего проекта

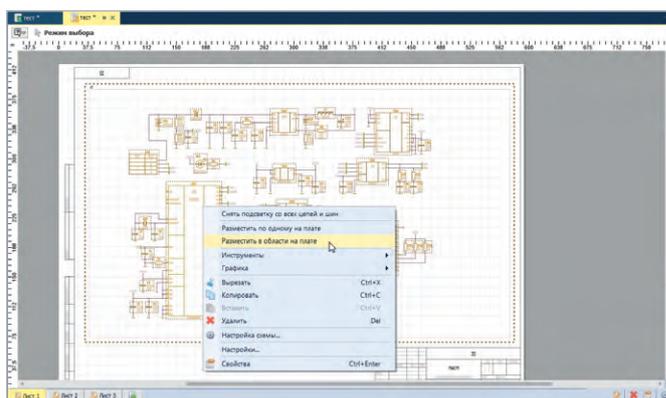


Рис. 25. Выбор блока A1 для размещения компонентов на печатной плате



Рис. 26. Размещение блока A1 (схема № 1) на контур ПП



Рис. 27. Трассировка всех контуров блоков A1, A2, A3 в редакторе печатной платы общего проекта

рекомендуем закрывать сторонним ПО, например, «Компас Электрик» (разработчик АСКОН). Выполненная трассировка трёх печатных плат в соответствии с их схемами показана на рис. 27.

Заключение

Таким образом, существующий функционал и набор инструментов Delta Design позволяет реализовывать сложные проекты, включающие несколько

печатных плат. Функционал работы с многоплатными проектами находится в планах разработки и будет реализован в одной из следующих версий Delta Design.



НОВОСТИ МИРА

МАСШТАБИРУЕМАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ СЕРТИФИКАТАМИ АВТОМАТИЧЕСКИ ОБНОВЛЯЕТ УЧЁТНЫЕ ДАННЫЕ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

u-blox анонсировала новый менеджер сертификатов Интернета вещей, который устраняет задачу ручного управления обновлением учётных данных на тысячах устройств, предоставляя готовые решения для облачных платформ Интернета вещей с полным контролем жизненного цикла сертификата устройства. Разработанный и оптимизированный для сценариев Интернета вещей, он устраняет ошибки, которые могут возникать при ручном управлении крупными развёртываниями Интернета вещей, освобождая ресурсы для других действий.

Этот пакет управления жизненным циклом сертификатов предлагает готовые решения для регистрации и подключения устройств к облачным платформам Интернета вещей, таким как AWS, Azure, или даже к пользовательским платформам, что делает его простым, безопасным и экономически эффективным. Служба u-blox предоставляет простой способ управления сертификатами X.509, необходимыми для аутентификации устройств.

- Основные характеристики:
- подключение устройств к облачным платформам Интернета вещей на основе сертификатов X.509;
 - удалённое развёртывание сертификатов устройства и корневых сертификатов на устройстве с обеспечением нулевого касания;
 - обновление учётных данных в полностью автоматическом режиме для обеспечения

- надёжной защиты в будущем;
- разработан и оптимизирован для бесшовного масштабирования от прототипирования до огромных автопарков.



Менеджер сертификатов Интернета вещей повышает уровни безопасности на протяжении всего срока службы устройства. Основываясь на принципах доверия, заложенных в сотовых модемах LTE-M серии u-blox SARA-R5, он обеспечивает полностью интегрированное решение для обеспечения безопасности от кремния до облака.

circuitdigest.com

Перспективные фотонные и фононные отечественные технологии для терагерцовых микропроцессоров, ОЗУ и интерфейса со сверхнизким энергопотреблением

Александр Гордеев, Виктор Войтович, Геннадий Святец

Статья раскрывает уникальные возможности России в области терагерцовых цифровых технологий – базовой основы будущей терагерцовой цифровой экономики с инструментами в виде искусственного интеллекта, 7G, модуляции окружающей терагерцовой среды обитания человека.

Введение

Новая технология откроет перед обществом абсолютно новые возможности, и её можно считать прорывной, поскольку её целью является превращение мегаваттных по энергопотреблению экзафлопсных компьютеров типа суперкомпьютера «Ломоносов» (МГУ, г. Москва) или «Кристофари» (Сбербанк) в обычное рабочее место студента МИФИ или работника Сбербанка.

Россия, как ни одна другая страна в мире, обладает достаточными технологическими возможностями и могла бы начать такую разработку значительно раньше появления программы «Росатома» по созданию квантового компьютера (2019–2024 гг., 24 млрд руб.). В России давно уже есть основа основ для этих целей – фотонные и фононные материалы. Вопрос заключается в культуре общества, культуре тех людей, которые разрабатывают Национальные Программы будущего. Выстраивать новейшую национальную технологическую платформу никогда не поздно. Учитывая, что правительство несёт огромное бремя по пандемии «SARS-Cov-2», мы озвучиваем предложение к крупнейшим банкам РФ, таким как Сбербанк, Газпромбанк, ВТБ, ВЭБ и др., рассмотреть возможность финансирования фотонно-фононного цифрового проекта с последующими подпрограммами в виде 7G, систем распознавания образов для искусственного интеллекта в «чёрноволновом», сугубо индивидуальном излучении человеческого тела (взамен тушикового направления – нейросетей или «чудотворных» биометок) и «зелёной» энергобиосреды обитания человека.

Проблемы с «цифрой»

С точки зрения наноэлектронных технологий Россия – третьеразряд-

ная страна с микроэлектронной технологией в 95 нм в сравнении с 3-нм процессорами фирм TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) или Samsung, Intel, IBM.

Уровень отечественной электроники и её место на мировом рынке были подчеркнуты вице-премьером Ю.И. Борисовым на конференции «Электроника в России: будущее отрасли» в декабре 2019 г. «Сегодня глупо говорить, что в России существует серийное микроэлектронное производство. Мы даже отсутствуем в мировой статистике», – отметил он. И буквально через месяц была принята «Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» (Распоряжение Правительства РФ от 17.01.2020 № 20-р), которая предусматривает (цитируем): «разработку изделий по кремниевой технологии с топологической нормой 5 нм с последующим выпуском изделий на их основе на зарубежных фабриках и переносом производств в Российскую Федерацию». Что намечается переносить – технологию компании TSMC от 2019 года (5 нм)? Или забыт печальный опыт с MC-21?

Если собственных процессорных чипов нет, то нет и базы под терагерцовую цифровую экономику [1], [2]. Если нет фундамента – процессорного чипа, то на чём строить цифровые технологии? На так называемой «цифровой трансформации»? Всем известно, что Программа импортозамещения (Приказ Минпромторга от 31.03.2015 № 662) не достигла плановых показателей в той же субмикронной технологии – освоение 28-нанометровой технологии в 2018 году. Отметим, что по предыдущей Стратегии развития отечественной электроники до 2025 года

от августа 2007 г. предусматривалось освоение 10-нм технологии в 2023 году.

И хотя программа импортозамещения в целом была огромным шагом вперед, но, с учётом геополитики (как непредвиденный враждебный акт против отечественной экономики), мы можем получить иски от ЕС на \$290 млрд (полугодовой объём углеводородного экспорта).

В настоящее время мы вынуждены использовать принципы «фаундри»-технологии, заказывая по нашим топологическим нормам и «зашивкам» микропроцессорные чипы фирме TSMC, которая обеспечивает 50% мирового рынка микропроцессоров. И конечно, при доле заказа РФ, составляющей тысячные доли % от оборота TSMC, ожидать долговременных гарантий на поставку чипов очень сложно, тем более что наблюдаются постоянные визиты в TSMC высокопоставленных чиновников из США с целью переноса производства микропроцессоров в США (хотя TSMC продумывает и просчитывает геополитическую ситуацию, связанную с материковым Китаем и уже строит свои филиалы в Японии и США). Сложно прогнозировать будущее наших «Байкалов» и «Эльбрусов», т.е. не всё безоблачно даже в текущем десятилетии.

Также важно подчеркнуть, что TSMC и Intel замахиваются на 3D MOSFET-технологию с топологической нормой в 1,0 нанометра. А на её освоение в России (чип) совместно с Белоруссией (оборудование) потребуется как минимум \$50 млрд или три четверти консолидированного оборонного бюджета. Такими свободными ресурсами наша экономика пока не обладает.

Однако добавим «ложку дёгтя» в «кулоновские» процессоры той же фирмы TSMC. Это связано с тем, что при полной загрузке даже 5-нм процессорный чип потребляет несколько сотен ватт электроэнергии, а процессорный чип с проектной нормой в 1,0 нанометр и количеством транзисторов порядка 0,2 триллиона – это по мощности эквивалент электрического утюга. И, конеч-

но же, возникают проблемы не только с теплоотводом. Предположим, что вы используете 16-ядерный компьютер с однананометровым процессором, тогда возникает угроза возгорания, поскольку на практических терагерцах такой процессор потребляет десятикиловаттные уровни электроэнергии с частотой 50 Гц, преобразованной хотя бы в СВЧ ВПП порядка 1,0 гигагерц, – мы должны иметь серию блоков ВПП с энергоплотностью до 200 кВт/дм³. Добавим сюда и электромиграцию в топологических многоуровневых проводящих дорожках, имеющих вероятный контакт с активными зонами транзистора $\approx 2 \times 2$ нанометра, или 4×10^{-14} см², т.е. мы можем иметь потолочный ток через единичный транзистор не более 20...40 наноампер или в целом через общий кристалл процессора (при полной загрузке) – ток порядка 800 А.

Следовательно, не всё так просто выглядит с применением 0,2 триллионных по плотности транзисторов – процессоров фабрики TSMC.

Другими словами, «софт» – это один вопрос, а «электроника» – другой, включая флюенсовые СВЧ ВПП, которые на кремнии создать невозможно. Кроме того, необходимо обратить внимание на соседний с микропроцессором (грубо говоря – вычислителем) элемент в виде DMOS (diffused metal-oxide semiconductor) ОЗУ, который по плотности транзисторов на чип мало уступает главному «мозгу» цифровой системы.

Можно ли пойти другим путём, поставив следующие задачи:

- 1) снизить энергопотребление терагерцового компьютера (львиная доля которого приходится на процессорный чип);
- 2) сократить размеры будущих терагерцовых компьютеров хотя бы до уровня габаритов ноутбука;
- 3) довести скоростные характеристики «вычислителя» и ОЗУ до уровня десятков/сотен Тбит/с?

Всё это возможно. Но для этого необходимо следующее:

- общая культура;
- глубокие знания в области ФТТ и ядерной физики;
- наличие материально-технологической базы;
- финансирование;
- политическая воля.

Многие компании мира, в частности IBM, Microsoft, Intel, Honeywell, Amazon, D-Wave, а также наши отечественные госкорпорации («Росатом», «Ростех»), ВУЗы и инновацион-

ные центры (МФТИ, МГУ, «Сколково», Российский квантовый центр) заняты решением задач по созданию так называемых квантовых компьютеров. Первую модель квантового компьютера создал великолепный физик, лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман (США), а в СССР этой проблемой занимался известный во всём «электронном» мире физик К.А. Валиев, с которым один из авторов этой статьи лично обсуждал вопросы создания квантового компьютера и физику его работы.

Физические принципы создания квантовых компьютеров, на которых разрабатываются их конструкции, следующие: 1) спинтроника (спиновая электроника); 2) сверхпроводимость; 3) фотоника; 4) одиночные атомы (холодные ионы).

Не будем вдаваться в подробности каждого метода, будь то квантовая запутанность и телепортация спин-энергосостояния, или ридберговский атом рубидия (Rb), или куперовские пары. Подчеркнём лишь то, что практически во всех вышеназванных методах реализации «квантовой цифры» на кубитах (квантовых битах в сочетании с принципом Гейзенберга) нужны очень низкие криогенные температуры и танки (резервуары) с жидким азотом, а также теплоизолирующие саркофаги. Кроме того, квантовая запутанность на кубитах может давать сбой при малейшем отклонении условий для кубитного исчисления, хотя в узком применении такие машины незаменимы, например, в квантовой химии, криптографии, медицине, космических расчётах и др.

Фотоника стоит особняком, но и здесь имеются проблемы, такие как:

- проблема волноводного распределения фотонов от ЛД (лазерного диода);
- рассеяние и затухание «света»;
- размывание «колокола» светового импульса;
- мощность ЛД;
- отсутствие «светового» по скорости ОЗУ;
- медленный интерфейс;
- очень медленный (на три порядка «не успевающий» за оптическим (фотонным) микропроцессором) АЦП.

Можно ли решить вышеуказанные проблемы? Да, это можно сделать на основе нетрадиционной безынджектционной фотоники.

В России всё для этого есть. Подчеркнём – в России всё есть для реализации терагерцового, не криогенного, с низким энергопотреблением суперкомпью-

тера в формате планшета. Далее приведём некоторые детали по этому вопросу.

Общие физические и технологические принципы построения сверхкомпактного настольного суперкомпьютера с низким энергопотреблением

Этой проблемой также занимаются во многих странах мира, в частности, выстраивая цифровые вычисления на методе Фурье, исчислении на основе римских цифр и других. «Аналоговая цифра» – это далеко не иллюзия, и она, в принципе, создаёт условия для реализации скоростей как тера-, так и петабит/с, в том числе с переходом на мультикодовое исчисление.

Мы, с учётом понимания отечественных подходов к созданию квантового суперкомпьютера, немного усложнили себе задачу и предлагаем построение суперкомпьютера на следующих физических принципах и конструктивно-технологических решениях, на что не требуется около трети млрд долларов, с итоговой «квантовой запутанностью», а именно:

- 1) создание квантово-точечных локальных безынджектционных когерентных спин-противофазных 2-фотонных генераторов (с нулевой амплитудой световой волны);
- 2) принцип Паули для s-электронов;
- 3) авторская теория мультизонной проводимости (дополнение к зонной теории: от У. Шокли до Ж.И. Алфёрова [3]);
- 4) эффекты Штарка и Франца Келдыша (сверхполевое туннелирование зона/зона);
- 5) авторская теория цифровой фотоники [4] на базе основ теории поляризации в твёрдых телах [4], явления усиления света в твёрдых телах [5];
- 6) теория терагерцового транспорта электромагнитной энергии [4] в диэлектрических кристаллах, содержащих атомы Ga, или Al, или одновременно;
- 7) исключение «шариковой» модели атома по Резерфорду – Бору (это уже вчерашний день) или возврат к неопределённости Гейзенберга;
- 8) теория Ричарда Фейнмана о физическом вакууме, точнее, об энергии «твёрдого вакуума» в диэлектриках (межатомном пространстве, достигающем от 25% в AlN и до 34%, например, в i-GaAs);
- 9) квантово-точечная энергия Пойнтинга при построении релятивистского ОЗУ (RAM);
- 10) явление комнатной сверхпроводимости в нанослоевых атомных пе-

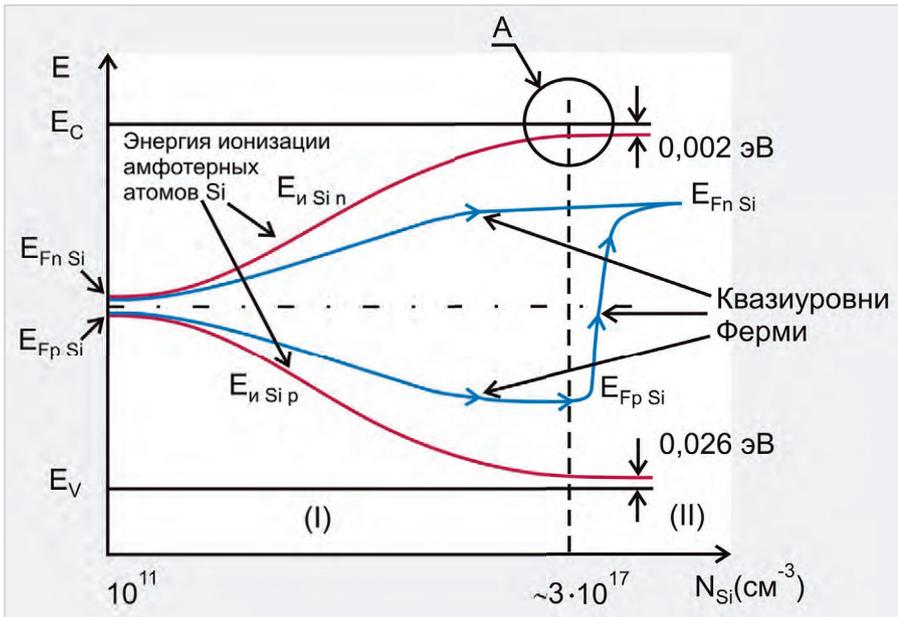


Рис. 1. Зонная диаграмма и квазиуровни Ферми кремниевых квантово-ямных центров

реходах $A_{IV}B_{IV}/A_{IV}$ и телепортации на s-электронной жидкости [6];

11) гибридизация и моно-/гетерокристаллографическая совместимость 2-фотонного квантово-точечного генератора с цифровой и логической квантово-точечными ячейками;

12) скин-фазная логика в металлах, стоящих правее атома водорода в ряду восстановления;

13) исключение постулата о «потолке» скорости света по Эйнштейну в твёрдых телах – как ненужной и консервативной догмы, что проявляется при поляризации по Клаузиусу – Москотти [7];

14) фотонные запрещённые зоны с минимумом энергощели до размеров толщины фронта волны (ангстремы);

15) теории Блоха и Брэгговских решёток;

16) эффект Поккельса.

Понимание теории и физических законов, изложенных выше в п. 1–16, предоставляет возможность реализовать суперкомпьютер в формате планшета, т.е. квантовый компьютер без применения «саркофагов» и т.п.

Фотонные и фононные кристаллы

К фотонным и фононным материалам относятся:

- 1) LPE $i-SiGaAs_{Si}$, т.е. арсенид-галлиевый изолятор с $\rho \geq 10^9$ Ом·см с «тройной» подрешёткой Ga, As и слабодисперсной биузловой подрешёткой Si в GaAs; с атомной поляризацией атома Ga $\approx 146 \times 10^{-30}$ м (для сравнения – атом Li в ниобате лития $LiNbO_3$ имеет практически такой же коэффициент поля-

ризации – 151×10^{-30} м [4]). При этом необходимо учитывать, что при поляризации атом Ga может быть «раздут» полевой энергией в два раза эффективнее, чем, допустим, атомы Rb (по Ридбергу) для квантово-кубитной запутанности – квантовые компьютеры на ионах. Построение квантового компьютера на ионах Ga или квантово-ямных магнитно-атомных центрах лантаноидов в GaAs (спин-комнатная электроника – на свойствах атомно-орбитальной электроники – будет рассмотрена нами подробно в последующих публикациях). К данным кристаллам присматривается «Росатом»;

- 2) совершенно очевидно, что сюда же подходят и кристаллы AlN (опытное производство в г. С.-Петербурге), а также будущие или настоящие кристаллы-диэлектрики Ga_2O_3 и «чистые» сапфиры – Al_2O_3 ;
- 3) AlN/GaN – наносэндвичи [8];
- 4) легированный фотонный излучатель AlN [8].

«Комнатный» сверхпроводник

«Комнатный» сверхпроводник на наногетероструктурах Si-3C-SiC, выращенных дилатационным (атомное замещение) методом. Сверхпроводящая «комнатная» куперовская пара (электронная жидкость) образуется на основе несвязанных p-электронов на границе гетерофаза – твёрдый вакуум – физический вакуум.

Магنونные, или спин-кристаллы

Кристаллы на основе выращенных наноструктурных гетеросистем

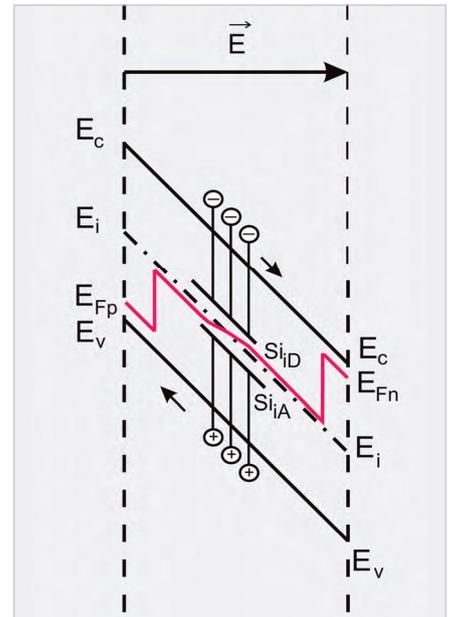


Рис. 2. Зонная диаграмма с учётом эффектов полевого туннелирования по Штарку и Францу – Келдышу

Si-3C-SiC обладают скоростным гистерезисом $\mu = f(\vec{B})$. Квантово-точечные домены в SiC обладают великолепным быстродействием (запись/считывание спин-квантовой памяти).

Металлофазные логические материалы

Для создания ОЗУ и 2-фотонных процессоров, а также регистров будут использоваться такие металлы, как Cu, Au, Ag с соотношением скоростей прохождения скин-электромагнитных волн по функции $V = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}}$.

Базовые физические принципы построения 2-фотонных процессоров на примере кристаллов LPE $i-SiGaAs_{Si}$

Эффект мультизонной проводимости в LPE $i-SiGaAs_{Si}$ кристаллах (эффект расщепления запрещённой энергетической зоны GaAs), дополняющий зонную теорию проводимости от зонной инжекции Шокли до квантовых диодных генераторов на гетероструктурах AlGaAs/GaAs Ж.И. Алфёрова, подробно описан в публикации [3].

Смысл состоит в том, что в процессе кристаллизации жидкофазной эпитаксии (LPE) GaAs в кварцевом реакторе с одновременным легированием атомами кремния (Si) в решётке GaAs образуются амфотерные, водородоподобные энергетические центры, симметричные относительно середины запрещённой зоны E_i GaAs.

Выяснено, что акцепторного и донорного типа E_{SiGa} и E_{SiAs} образуют внутрен-

ние запрещённые зоны за счёт сверхслабодисперсной биузловой кремниевой подрешётки с энергией ионизации/активации

$$E_{nSi} = E_{pSi} = AkT \frac{N_C N_V}{N_{Si}^2},$$

где N_C и N_V – плотность состояний в зоне проводимости и валентной зоне, а N_{Si} – концентрация амфотерных центров; A – расчётный коэффициент, зависящий от дисперсии $n = \sqrt{\mu\epsilon}$, энергии Пойнтинга и концентрации амфотерных центров. При этом нарушается постулат зонной теории – закон действующих масс $np = n_i^2$, поскольку учитывается плотность активированных энергоцентров в случае энерговоздействия, и, в конечном счёте, однополярное уравнение непрерывности в p - i - n переходе переходит в разряд биполярного, где в i -зоне нет понятия «неосновные» носители.

Зонная диаграмма и квазиуровни Ферми кремниевых квантовых центров выглядит следующим образом (рис. 1).

Энергия ионизации водородоподобных центров (с условным названием «статические экситоны») колеблется в пределах 0,7...0,2 эВ от краёв зон.

А энергия ионизации данных центров отличается от энергии ионизации по водороду (1) в полупроводниках на порядок и более.

С ростом энерговоздействия (температура + поле) зонная диаграмма, с учётом эффектов полевого туннелирования по Штарку и Францу-Келдышу, имеет вид, показанный на рис. 2.

Следовательно, с учётом того, что, допустим, при $N_{SiA} - N_{SiD} = 0$ и $N_{SiA} = N_{SiD} \sim 2 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, в решетке GaAs мы имеем приблизительно два атома (водородоподобных) кремния на 10 миллионов атомов в решётке GaAs.

Следовательно, если мы уменьшим нанобъём в $1,0 \text{ см}^3$ (это $\approx 10^{21}$ нанокубиков) в 10 млн раз, то мы будем иметь в уменьшенном кубике (при концентрации чуть больше 10^{15} см^{-3} атомов кремния) приблизительно два атома кремния, которые занимают глубокие симметричные водородоподобные центры ($F_{nSi} = F_{pSi}$).

При полевым воздействии мы можем активировать данные центры и **получить безынежекционный (без протекания тока, как это происходит в ЛД) лазер.**

Это и есть фундамент создания 2-фотонной логики и памяти в новых типах процессоров. Допустим, что мы имеем 50 млрд ячеек, тогда мы используем на них 100 млрд фотонов, т.е. 10^{11} фотонов. Сопоставим с количеством фотонов,

излучаемых в ЛД ($\approx 8 \times 10^{16} + 2 \times 10^{17}$ фотонов), очевидно, что энергопотребление 2-фотонного процессора будет приблизительно в миллион раз меньше, чем фотонного процессора, проектируемого с допустимой вероятностью в научных центрах РФ (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИ-ЭФ», г. Саров, Нижегородская область, или ряде институтов РАН, ВУЗов РФ).

2-фотонный LPE i -GaAs_{Si} безынежекционный квантовый генератор – это экстремальный случай. Возможно и 100, и 1000 фотонов с генератора.

Это исключительно важно, поскольку такой фотонный процессор будет иметь гораздо бóльшую устойчивость, чем, допустим, «криогенный» громоздкий квантовый спин-мультикубитный процессор), так как в условиях присутствия внешнего ЭМИ (например, магнитоэнергетической бури на Солнце, искусственного подобия Курской аномалии или ядерного взрыва) можно ожидать катастрофического сбоя работы такого процессора.

Далее, применяя фазовый сдвиг «2-порционных фотонов», можно делать те же операции, что и в «субпиксельной» китайской интерференции, показанной в работе [9].

При этом мы делаем одно допущение: допустим, для фотона с арсенид-галлиевой длиной ИК-волны (0,81...0,75 мкм) в твёрдом теле вполне реальны латентные «волновые», точнее, корпускулярные каналы в межатомном твёрдом вакууме, который в решётке GaAs достигает по величине $\approx 34\%$ объёма, и при этом фотонные (корпускулярные) каналы имеют сторону сечения канала меньше, чем радиус атомов Ga или As ($\approx 1,25 \text{ \AA}$), что связано с поляризационной особенностью атомов Ga или Al (например, в сапфире или чистом корунде), когда вследствие поляризации атомов Ga или Al (схожих с Li- атомной поляризацией) форма атомов Ga в решётке того же диэлектрика i -GaAs_{Si} принимает форму ближе к эллипсу и появляются «разрешённые» энергетические зоны для пролёта фотона в решетке GaAs. Это необходимое и, в принципе, обоснованное физическое трактование (учтём, что квантовый диодный генератор Ж.И. Алфёрова на гетероструктурах AlGaAs/GaAs выстраивается на рекомбинационных прямоходных явлениях излучения когерентной волны в тонких переходных р-п-областях с шириной $< 0,1 \text{ мкм}$ (100 нм).

Добавим, что, принимая во внимание оптические структуры AlN/GaN, разработанные д.ф.-м.н. профессором С.А. Кукушкиным (диэлектрик AlN с $\rho \geq 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{см}$) на поляризацион-

ных свойствах AlN (атома Al), мы также с исключительно высокой теоретической и технологической вероятностью, близкой к единице, сможем создать более коротковолновые 2-фотонные процессоры [10]. Здесь также нет технологических препятствий.

Другими словами, перед «Росатомом» могут быть открыты исключительные возможности по созданию экзафлопсных фотонных компьютеров с мощностями потребления не более чем у современных «кулоновских» планшетов или ноутбуков взамен огромных серверных блоков с энергопотреблением в несколько мегаватт (в качестве примера можно привести суперкомпьютер «Ломоносов» в МГУ).

Простейшие примеры 2-фотонных генераторов, цифровых и логических ячеек на основе LPE i -GaAs_{Si}-кристалла

В этом разделе на рисунках 3–5 приведены примеры реализации базовых элементов, на которых будут строиться фотонные вычислители.

Физика фононных (релятивистских) ОЗУ (RAM)

Что такое конденсатор? Как правило, в учебниках физики изображается диэлектрик с металлическими обкладками и силовыми линиями поля поляризации между обкладками с накопившимся \pm зарядом на обкладках. И всё?

В реальности основное применение конденсатора – в качестве реактивного сопротивления в ВЧ или СВЧ приборостроении ($Z = \frac{1}{\omega C}$). Значение ёмкости $C = \frac{\epsilon S}{L}$ всем известно со школьной скамьи.

Совершенно очевидно, что накопленная энергия в кристалле

$$W \approx qU = \frac{qE}{L} \quad (1)$$

зависит от накопленного заряда в ёмкости:

$$Q(q) = CU. \quad (2)$$

И совершенно очевидно, что $C = f(\epsilon)$ и, следовательно, $Q = f(\epsilon)$, следовательно, накопленная в кристалле энергия зависит от частоты приложенного поля (рис. 6) и ϵ . Данная энергия описана в 4 уравнениях Максвелла, это атомно-волновая энергия, которая в каждой точке кристалла, допустим, в пределах колебаний фонона (узла решётки) имеет вид [4]:

$$W = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} = \frac{\mu H^2}{8\pi}. \quad (3)$$

Или при частотно-полевым воздействии дисперсия квантово-точечной энергии имеет вид:

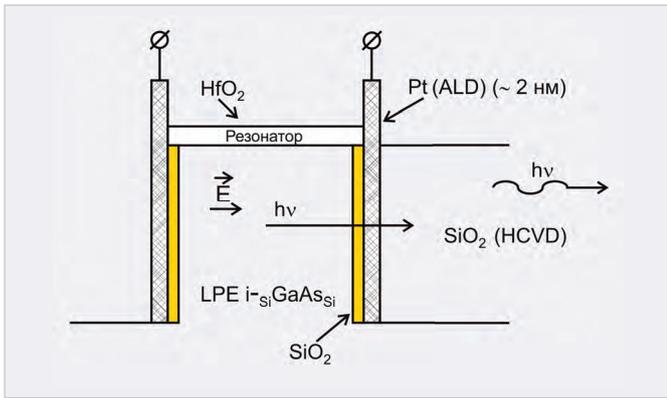


Рис. 3. 2-фотонный генератор со «световодом» SiO₂

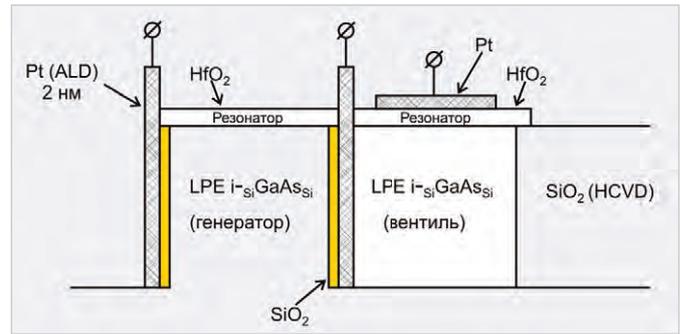


Рис. 4. 2-фотонный вентиль («1» ↔ «0») на основе рассеяния/отражения фотонов = «Ф» при открытой фотонной зоне в межатомном пространстве (туннельно-полевая генерация с последующей релаксацией при нулевом поле)

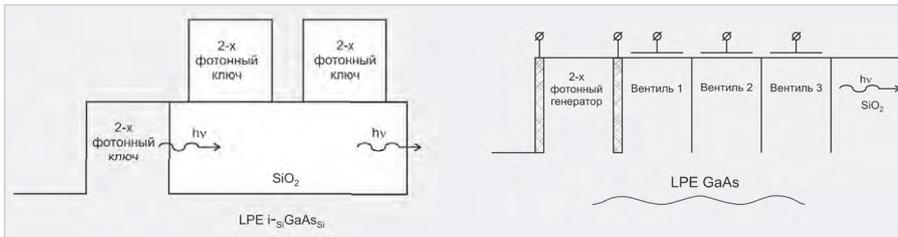


Рис. 5. Блок-схема ячейки «ИЛИ-НЕ» (а), блок-схема ячейки с набором функций «ИЛИ»; «НЕ»; «И» (б)

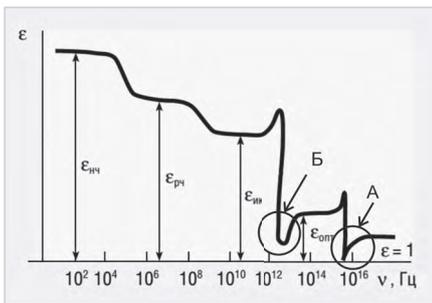


Рис. 6. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты электромагнитного поля

$$\begin{aligned} \vec{H} \operatorname{rot} \vec{E} &= \vec{E} \operatorname{rot} \vec{H} = \operatorname{div}(\vec{E}, \vec{H}) = \\ &= (-\vec{j} \vec{E}) - \vec{E} \frac{d\vec{D}}{dt} - \vec{H} \frac{d\vec{B}}{dt} \end{aligned} \quad (9)$$

В DRAM-ячейке ОЗУ (RAM), показанной на рис. 7, элементом накопления энергии («1») служит конденсатор С.

Элементом «закачки»/трансфера энергии («кулоновских» электронов) является открытый канал MOSFET, который ограничен по частоте коммутации (по промежутку $\tau = R_{Dson} \times C$, где R_{Dson} – сопротивление открытого канала MOSFET).

Чаще всего частота коммутации не превышает $\tau = 10^{-11} \div 5 \times 10^{-12}$ с. Это слишком медленно для обмена со «световым»/фотонным процессором. Нужны скорости ОЗУ на полтора-три порядка выше. Логически возникает вопрос – а зачем нужен медленный MOSFET?

С учётом сказанного ранее в данном разделе и при условии понимания эффекта Поккельса, на котором работают оптомодуляторы Маха – Цендера в РОФАР, мы приходим к выводу, что в $i\text{-SiGaAsSi}$ изоляторе можно модулировать значение $\epsilon = 12,8$ до $\epsilon = 0$ (!) (на частоте вблизи $\lambda = 1/300 \text{ см}^{-1}$). Следовательно, количество запасённой/аккумулированной или обеднённой энергии можно «переключать» от значения $\frac{12,8 \times E^2}{8\pi}$ до $\frac{1,0 \times E^2}{8\pi}$, чего, в принципе, даже нет в MOSFET – это модуляция или коммутация энергии, поставляемой на ёмкостный накопитель. Так зачем же нужен медленный, устаревший MOSFET? Не нужен.

С учётом одного из оптических каналов Маха – Цендера, а также с учётом

исключительной чувствительности по Поккельсу ϵ_{GaAs} к слабоэнергетичным квантам фотонов с энергией $\leq 0,1$ эВ, релятивистская ячейка электронно-фононной, или проще – фононной DRAM, будет выглядеть так, как показано на рис. 8.

То есть это тот же конденсатор накопленной (в равновесии) энергии и обеднённой энергии (при электромагнитном воздействии) $U = U_0 \sin \omega t$ или $W = hv$ (где $W \leq 0,1$ эВ).

В качестве диэлектрика могут быть использованы AlN [8], а также Ga_2O_3 или Al_2O_3 .

В принципе, нет проблем и с логикой, например, с «интерференционной» логикой «ИЛИ-НЕ», см. рис. 9.

Фононные генераторы, усилители, источники электропитания

В работе Ахманова С.А., Хохлова Р.В. «Об одной возможности усиления световых волн» [5], а также в работе Гордева А.И. «Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы» [4] показано, что при прохождении электромагнитной волны через нанодиэлектрик с атомами Ga, или Al, или Li микро-, субмикро-, наноячейка представляет собой LC-контур, который обладает добротностью $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Из двух-трёх таких ячеек, например, из наноячеек $i\text{-SiGaAsSi}$ или AlN при $Q_1 = Q_2 = Q_3$ можно построить или высокоэффективный генератор, или усилитель «световой» или, в общем случае, электромагнитной волны в дальнем ТГц-диапазоне (т.е. вплоть до частот 300 терагерц).

Фрагмент релятивистского источника электропитания с «нулевой точкой» (релятивистский ВИП) показан на рис. 10.

В дополнение: для терагерцовых цифровых систем, а также для 7G, 8G вплоть до 60 терагерц уже выполнены терагерцовые генераторы (см. рис. 11)

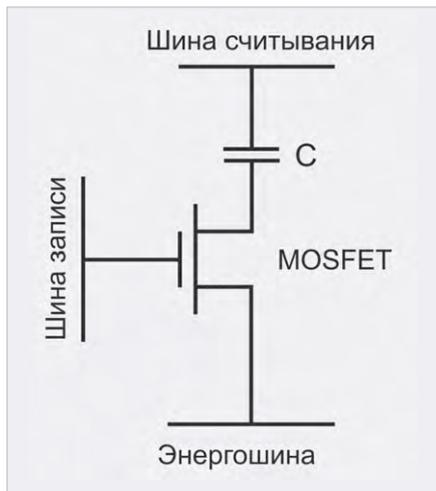


Рис. 7. DRAM ячейка 03У (RAM)

[11] и, конечно же, терагерцовые ОАФ (объёмно-акустические фильтры) [8].

То есть проблем с инжекцией и кодовым транспортом сигналов абсолютно нет.

Скин-металлофазовая «интерференционная» логика

Данная скин-фазовая логика базируется на максвелловском постулате:

$$V = \frac{C}{\sqrt{\mu\epsilon}} \approx \frac{C}{n},$$

где n – показатель преломления.

Скорость света зависит от показателя ϵ (эффект Поккельса) или от n (основополагающего показателя скорости электромагнитной волны в ТТ по Максвеллу).

С учётом того, что металлы никель (Ni) – это ферромагнетик, а серебро (Ag) – это диамагнетик, показатель преломления в таких металлических проводниках отличается в терагерцовом диапазоне в значительной степени и сближается в ультрафиолетовом диапазоне. Следовательно, мы можем иметь следующую фазово-скоростную упрощённую интерпретацию скорости электромагнитной волны в Ag и Ni (рис. 12).

Это даёт качественное представление о фазовой и временной модуляции при создании фотонной и фононной логики, а также имеет исключительное важное значение при построении АЦП терагерцовых компьютеров.

Как мы видим, при $n_{Ag} < 1$ и $n_{Ni} \gg 1$ мы можем создавать как в ТГц-сетях, так и в СВЧ (субтерагерцовом) диапазоне ЛУ (линии ускорения) и ЛЗ (линии задержки). Это имеет также большое значение для 7G, 8G, 9G.

Терагерцовые АЦП

ЦАП/АЦП – обязательные конструктивные элементы цифровых систем.

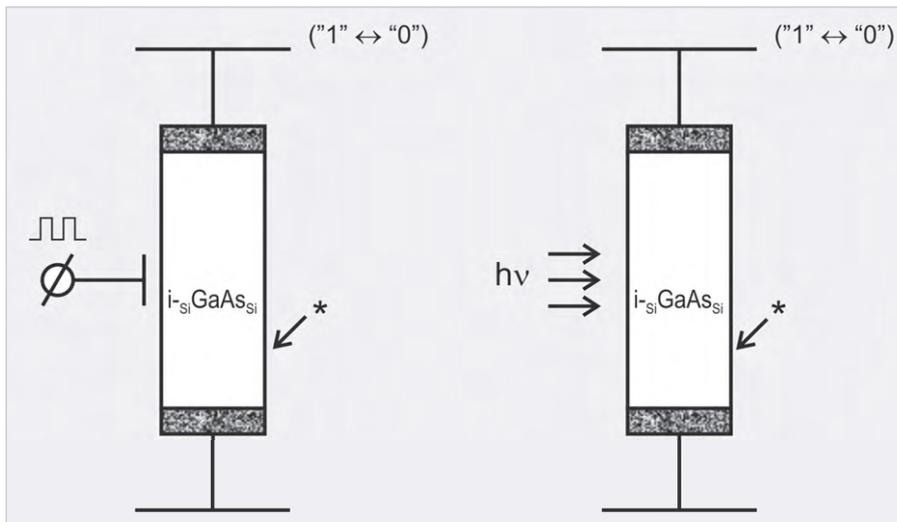


Рис. 8. Фононная ячейка DRAM на эффекте Поккельса

СВЧ ЦАП – достаточно серьёзная технологическая проблема, но проходимая на базе набора элементов на мировом рынке. А вот спроектировать и создать терагерцовые АЦП хотя бы до 10 терагерц (7G) – это важнейшая проблема для архитектуры суперкомпьютеров. Необходимо отметить, что на собственной элементной базе у России с АЦП проблема даже в X-диапазоне частот, не говоря уже о длинах волн $l = 1,0$ мм (300 ГГц). А необходимо – на 10...100 ТГц. Как же это сделать? Это сложно, но можно.

Важнейшими звеньями терагерцового АЦП следует считать:

- 1) терагерцовый компаратор;
- 2) терагерцовые широкополосные операционные усилители (без искажения формы сигнала);
- 3) терагерцовые регистры и демодуляторы/шифраторы.

Решить проблему АЦП на основе зонной проводимости на дрейфе электронов невозможно. Поэтому нужен такой же комплексный подход, который описан в разделе 2 статьи, т.е. на законах ФТТ.

Важнейшие звенья терагерцового АЦП как в интерфейсе, так и при параллельной работе специализированного АЦП-адаптера под GSM/GPS в терагерцовом диапазоне – это терагерцовый мультиразрядный компаратор «Маха – Цендера» – компаратор с высокой разрядностью, допустим, с числом разрядности 12 на терачастотах и выше, с высокочувствительными усилителями, ТГц-шифратором или регистрами, встроенной системой динамической памяти (RAM) – это исключительно сложный функциональный блок, упрощённая схема которого показана на рис. 13.

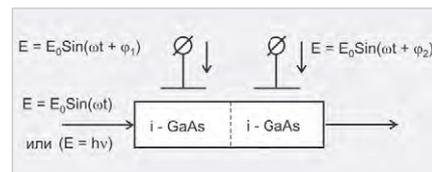


Рис. 9. Упрощённая интерференционная, точнее, релятивистская фазовая логическая ячейка «ИЛИ-НЕ»

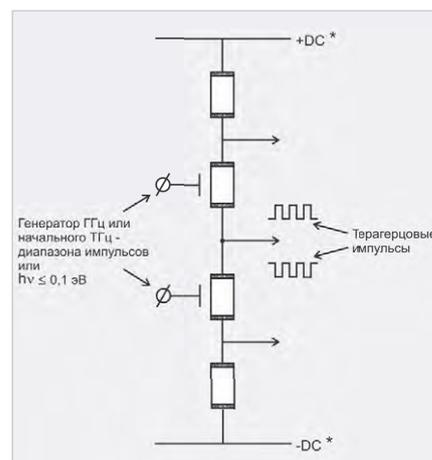


Рис. 10. Упрощённая схема источника терагерцовых импульсов на основе последовательных $i-SiGaAsSi$ или AlN наноструктур (* ± DC – источник ВИП с энергоплотностью в несколько сотен кВт/л)

Комнатная сверхпроводимость и магнетика для построения терагерцовых MRAM

При наличии GaN петагерцовых генераторов вблизи GaN-излучения – 460 нм, а также AlN излучения на 0,24...0,36 мкм возможно создание сверхпроводников на основе дилатационной границы Si-3C-SiC с необычными магнитными свойствами.

Прочитируем отрывок из публикации [12]:

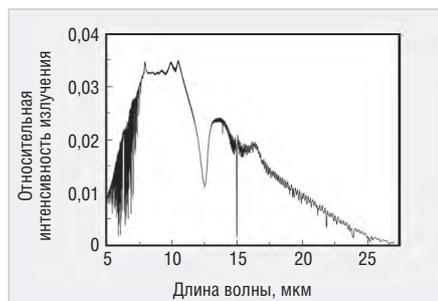


Рис. 11. Спектральная плотность излучения опытного терагерцового генератора

«...установлено, что межфазная граница раздела гетероструктуры 3C-SiC(111)/Si(111), выращенной методом согласованного замещения атомов, обладает необычными электрофизическими и оптическими свойствами и соответствует полуметаллу (рис. 2), а не полупроводнику. Удельное сопротивление среды интерфейсного слоя и время рассеяния носителей заряда в ней оценены как $4 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}$ и $4 \times 10^{-16} \text{ s}$ соответственно».

Также приведём ещё одну цитату из публикации [12]:

«Выполнен цикл экспериментальных исследований, а именно, проведены измерения и выполнен анализ полевых зависимостей статической магнитной восприимчивости в образцах тонких плёнок монокристаллического SiC, выращенных на поверхностях (100), (110) и (111) монокристаллического Si методом согласованного замещения атомов за счёт химической реакции Si с газом CO. В результате исследований в структурах SiC, выращенных на Si (110) и Si (111), обнаружено возникновение в слабых магнитных полях двух квантовых эффектов при комнатной температуре. Этими эффектами являются, во-первых, образование гистерезиса статической магнитной восприимчивости...»

Ничего особенного, на первый взгляд, кроме гениальности и невероятности, ведь открывается возможность создания фотонного транзисторного ключа для петагерцовой цифры и логики, управляемого электромагнитной волной на частоте от 700 ТГц или (для обывателя) – «синими» или ближне-ультрафиолетовыми квантами!

И как итог – неисчерпаемые возможности, вплоть до «тарелки-рефлектора» – «корректировщика» магнитного поля окружающих Землю тропо-, страто-, ионо- и магнитосфер («не кинетическая» защита воздушных, космических и наземных объектов) в виде «магнитного гиперболоида». Фактически это путь к исключению ядерной катастрофы на планете.

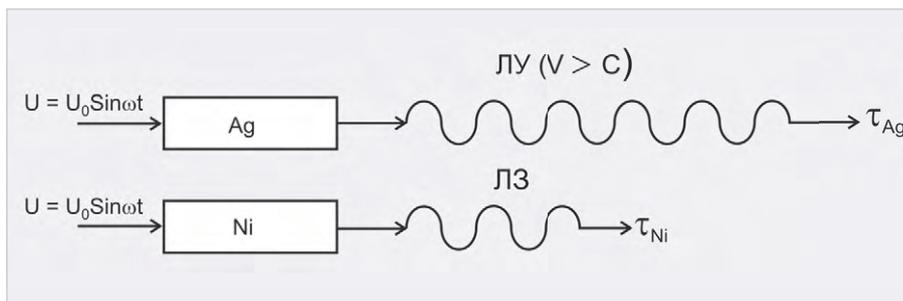


Рис. 12. Время прохождения скин-электромагнитной волны в равнозначных по длине и сечению проводниках из Ag и Ni

7G, 8G, 9G

Несмотря на сложности, в России идет развитие сетей 5-го поколения (5G). Предполагается использовать диапазон частот 4,4...4,9 ГГц и 24,5...29,5 ГГц. 4,4...4,9 ГГц – это не что иное, как 4G «М» (не более 2 гигабит/с).

Большинство стран для развития сетей пятого поколения выделяют различные спектры частот – как ниже 6 ГГц, так и выше.

США в области развития 5G вообще стоят особняком. Основным диапазоном частот сетей пятого поколения там предполагается сделать сверхвысокие частоты 24 ГГц, 28 ГГц, также намечается использование ещё трёх диапазонов частот: 37, 39 и 47 ГГц.

США ведут разработку 6G на частотах 240...320 ГГц (до 100 гигабит/с).

На Международной конференции по коммуникациям IEEE 2021 сотрудники Samsung и Калифорнийского университета в Санта-Барбаре (UCSB) показали работу сквозной системы беспроводной связи 6G. Точнее, была показана возможность и перспективы использования для сетей 6G диапазона частот в терагерцовом диапазоне, что значительно снизит задержки в передаче данных и в десятки раз увеличит скорость передачи по сравнению с 5G.

Конечно, ничто не мешает вести отечественную разработку 6G на LPE/MOCVD GaAs кристаллах **на абсолютно новой элементной СВЧ-базе (униполярно-инжекционных и зонно-релятивистских GaAs СВЧ-диодах и транзисторах с потенциалом работоспособности на $\lambda = 1,0 \text{ мм}$)**, включая создание синтезаторов, ЦАП, АЦП, УПЧ, фотонных процессоров и др. на рабочей частоте около 300 гигагерц с трансляцией и приёмом из ближнего космоса с мини-спутников с энергопитанием от i-GaAs солнечных батарей с КПД > 30%.

Рынок 6G по западным оценкам составляет около \$1,0 трлн. Но Россия

пока «идет своим путём» по стандартной схеме так называемого «импортозамещения».

Напомним, что вышеназванные диоды и транзисторы на GaAs и, в принципе, также на GaN в перспективе вытеснят те же GaAs, GaN p-HEMT и другие «классические» СВЧ-приборы. В итоге появляется прекрасная возможность создания вместо печально известной Программы импортозамещения (вероятный потенциал судебных исков ЕС – \$290 млрд) **реальной Программы развития ЭКБ и радиоэлектроники, опережающей мировой уровень**. Одним из авторов статьи подготовлена концепция Программы опережения в области ЭКБ. Также имеется проект создания Центра экстремальной силовой, СВЧ, ТГц электроники, фотоники и фононики с рабочими температурами 300...800°C, находящийся в настоящее время в Правительстве Ульяновской области.

Что касается 7G вблизи частот 6 ТГц, или 8G вблизи частот 30 ТГц, или, наконец, 9G вблизи частот 60 ТГц, то Россия, исходя из вышеуказанной цифровой и аналоговой фотоники и фононики, способна в текущий момент приступить к таким GSM/GPS-разработкам как для цифровой экономики, так и для элементов искусственного интеллекта (на основе «чёрноволнового» излучения человека).

Прогноз рынка вышеназванного направления («твёрдой нефти») оценивается в триллионах \$.

Как создавать 7G, 8G, 9G – это отдельная тема. С точки зрения физики твёрдого тела (ФТТ) – это не так уж и сложно, включая ТГц электромагнитно-акустические технологии Wi-Fi на ОАВ.

Заключение

1) В статье показаны фундаментальные основы создания фотонных и фононных терагерцовых суперкомпьютеров «настольного форма-

та» без применения криогенной техники и саркофагов к ним. Описана принципиально новая технология туннельно-полевой, безыножекционной лазерной генерации единичных фотонов, которая позволяет изменить архитектуру фотонного процессора с созданием единой нанообъёмной лазерной, цифровой и логической ячейки процессора («три в одном») с интегрированным «свето»-скоростным фоновым ОЗУ.

2) В статье показано наличие уникальных технологий по созданию нового поколения фотонных, фоновых материалов для терагерцовой и петагерцовой цифровой и аналоговой техники.

3) В статье показаны уникальные $A_{IV}B_{IV}/A_{IV}$ наногетеросистемы для «комнатной» сверхпроводимости и магноники.

4) В статье показана системность подхода и переход мышления от «цифровой трансформации» к реальным прорывным технологическим подходам для цифровой экономики, а именно: технология терагерцовых портативных фотонных, фоновых, магнонных терагерцовых суперкомпьютеров с беспроводными системами связи 7G, 8G, 9G – через мини-спутники на LPE GaAs фотovoltaике.

5) Статья тезисно создаёт основание для разработки отечественной Программы по экстремальной аналоговой и цифровой электронике, фотонике, фононике и магнонике, опережающей мировой уровень на несколько лет вперёд, с пересмотром текущей Стратегии развития отечественной электроники.

6) В статье показан коммерческий потенциал мирового рынка в триллионах \$ на основе предложенных фотонных, фоновых и магнонных технологий, с возможностью национальной монополии отдельных сегментов мирового рынка.

7) Статья, на наш взгляд, отвечает интересам госкорпораций «Росатом», «Роскосмос», «Ростех», «Росавиация», «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», Корпорации «Тактическое ракетное вооружение» (КТРВ), а также коммерческим интересам ряда крупнейших банков РФ (Сбербанк, ВТБ, Газпромбанк, ВЭБ и др.).

Литература

1. Гордеев А.И. Проблемы становления российской цифровой экономики и спосо-

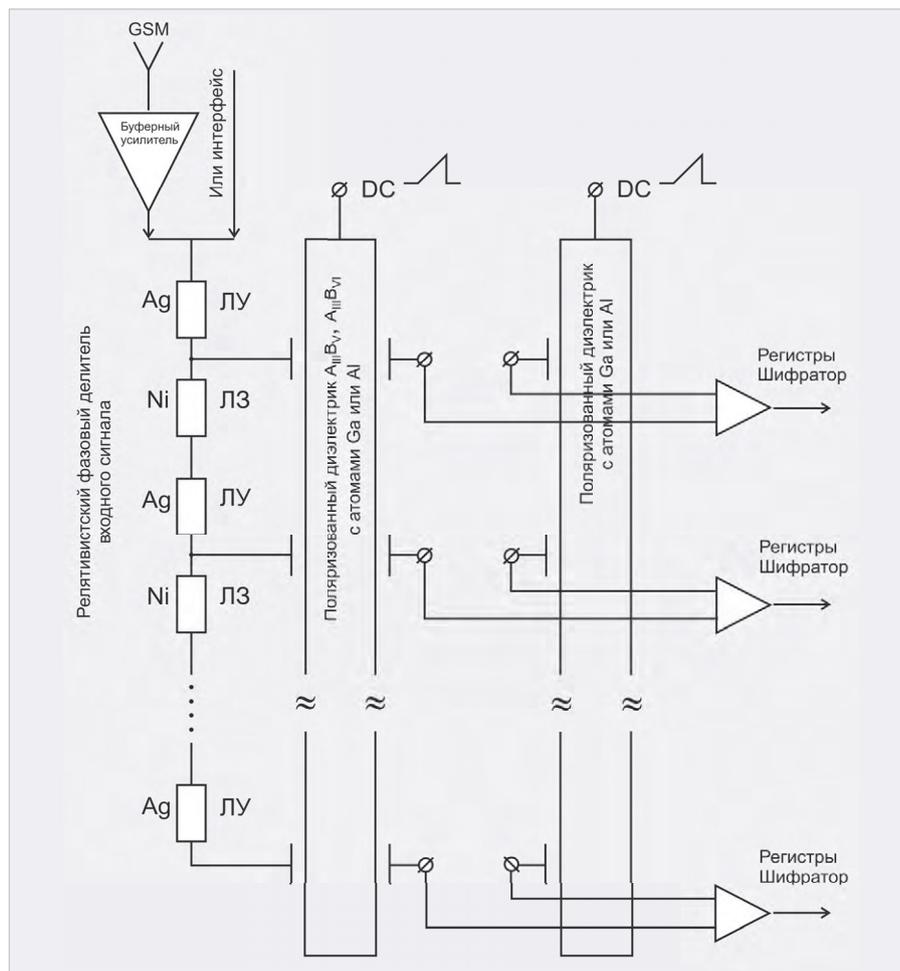


Рис. 13. Мультиразрядный компаратор с блоком усиления и фазовыми ЛУ (линиями ускорения) и ЛЗ (линиями задержки) на принципах Поккеля модуляции и $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ (функциональный аналог оптомодулятора Маха-Цендера)

бы исключения ошибок при их решении // Современная электроника. 2019. № 2.
 2. Гордеев А.И. Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху? // Современная электроника. 2021. № 5.
 3. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Звонарев А.В. Новая физическая твердотельная электроника на основе терагерцового расщепления и деформации запрещенной зоны LPE SiGaAsSi-кристаллов (Ч. 1) // Радиотехника. 2017. № 10.
 4. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы в двух частях // Современная электроника. 2016. № 6; 2016. № 7.
 5. Ахманов С.А., Хохлов П.В. Об одной возможности усиления световых волн // ЖЭТФ. 1962. Т. 43. № 1. С. 351–353.
 6. Кукушкин С.А., Оситов А.В. Оптические свойства, зонная структура и проводимость межфазной границы раздела гетероструктуры 3C-SiC(111)/Si(111), выращенной методом замещения атомов // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46. Вып. 22.
 7. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М.: Мир, 1982.

8. Кукушкин С.А., Шарофидинов Ш.Ш. Новый метод получения объемных кристаллов AlN, GaN и AlGaAs с использованием гибридных подложек SiC/Si // Физика твердого тела. 2019. Т. 61. Вып. 12.
 9. Степаненко С.А. Фотонный компьютер: Структура и алгоритмы, оценки параметров // Фотоника. 2017. № 7.
 10. Черкашин Н.А., Сахаров А.В., Николаев А.Е. и др. Особенности эпитаксиального роста III-N светодиодных гетероструктур на подложках SiC/Si // Письма в ЖТФ. 2021. Т. 47. Вып. 15.
 11. Баграев Н.Т., Кукушкин С.А., Оситов А.В. и др. Терагерцовое излучение из наноструктур карбида кремния // Физика и техника полупроводников. 2021. Т. 55. Вып. 11.
 12. Баграев Н.Т., Кукушкин С.А., Оситов А.В. и др. Магнитные свойства тонких эпитаксиальных слоев SiC, выращенных методом самосогласованного замещения атомов на поверхностях монокристаллического кремния // Физика и техника полупроводников. 2021. № 55(2). С. 103–111.





ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



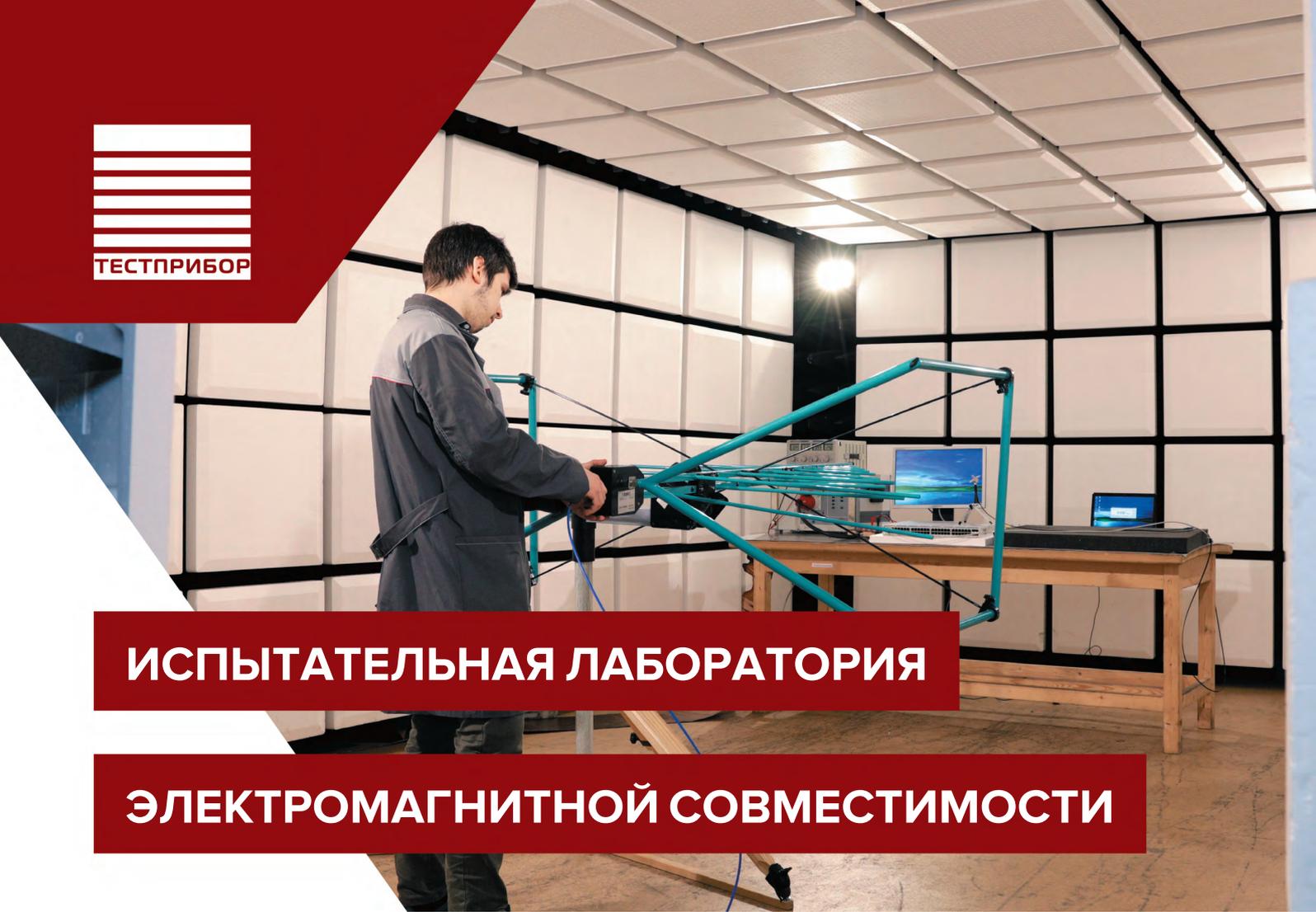
ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

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)



ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ЭМС

Преимущества:

- ✓ ИЛ ЭМС аккредитована в системах «Военный регистр», «АР МАК» и «Росавиация»
- ✓ Наличие всего необходимого оборудования и средств измерений
- ✓ Высококвалифицированный персонал
- ✓ Возможность проведения выездных испытаний на территории Заказчика
- ✓ Возможность проведения исследовательских испытаний

ВИДЫ РАБОТ (ИСПЫТАНИЙ)

- Определение уровня помехоэмиссии
- Восприимчивость к кондуктивным помехам
- Устойчивость к изменениям в сети электропитания
- Устойчивость к электростатическим разрядам
- Устойчивость к электромагнитным излучениям
- Устойчивость к магнитным полям
- Устойчивость к молниевым разрядам
- Устойчивость к HIRF-полям

