

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

3

2021

YouTube

КАК СОРВАТЬ КОРОНУ С ВИРУСА

В номере:

Эра 6G: как это будет

О применимости методик
расчёта MTBF

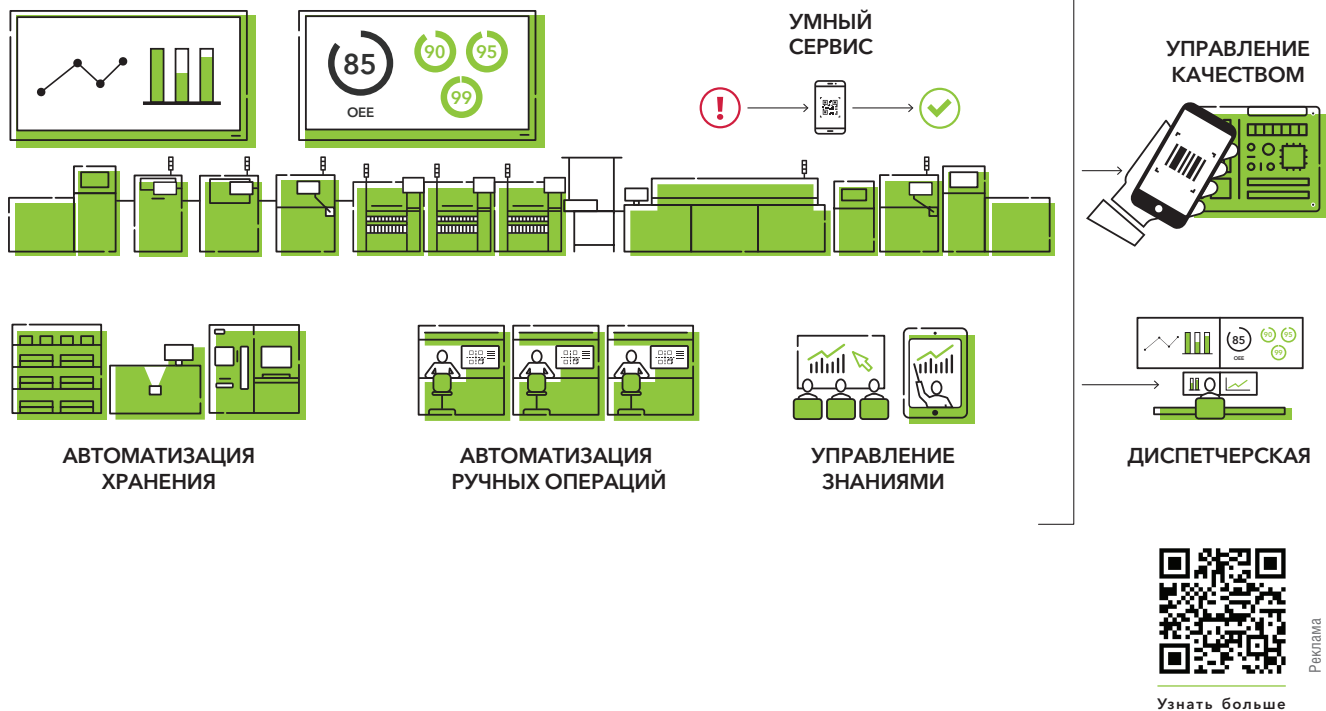
О первой в мире радиограмме

Мехатроника для
беспилотного транспорта



ЦИФРОВОЕ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ОБОРУДОВАНИЯ



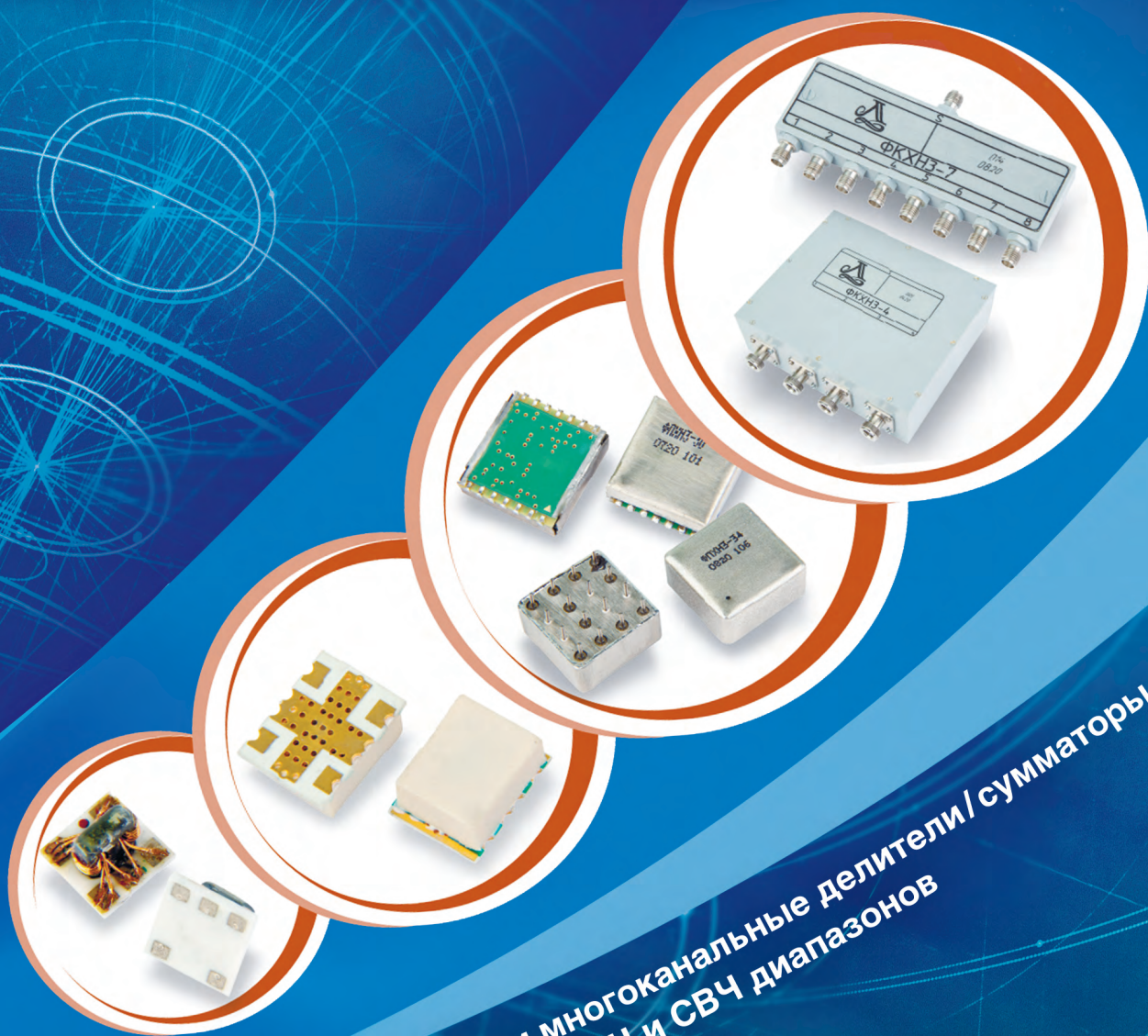
Результат реализации решения

- **Управляемость и контроль**
на основе разумной автоматизации
- **Прослеживаемость производства**
и цифровой паспорт изделия
- **Единый информационный контур:**
ERP/MES, оборудование, персонал
- **Управление качеством**
и минимизация человеческого фактора
- **Снижение производственных рисков**
и оптимизация потерь и простоев
- **Конкурентная себестоимость**
выпускаемой продукции



Завод Магнетон

МАТЕРИАЛЫ И ЭКБ МИРОВОГО УРОВНЯ



Направленные ответвители и многоканальные делители/сумматоры
мощности НЧ, ВЧ и СВЧ диапазонов

Реклама



WWW.MAGNETON.RU



Здравствуйте, уважаемые друзья!

2020 год навсегда войдёт в историю человечества как год пандемии Covid-19, радикально изменившей уклад нашей жизни. Неожданным образом пандемия подыграла киберпреступникам: многие компании были вынуждены в кратчайшие сроки перейти на удалённую работу, а вопросами кибербезопасности в условиях многочисленных удалённых подключений озаботились далеко не все. Согласно данным Atlas VPN, в 2020 году в Интернете было зафиксировано более 16 миллионов киберугроз, прямо или косвенно связанных с пандемией. В общей сложности 28% этих онлайн-угроз исходили из трёх крупнейших по численности населения европейских стран: Германии, Франции и Великобритании. Они же входят в первую десятку стран с наибольшим количеством случаев заболевания Covid-19. Интересно, есть ли тут какая-то связь?

Примечательно, что лишь менее одного процента всех киберпреступлений было реализовано при помощи настоящих вредоносных программ. Несмотря на свою эффективность подобные методы кибератак требуют весьма продвинутых технологических компетенций, поэтому гораздо большей популярностью среди преступников пользуется старый добрый спам, содержащий вредоносные ссылки (это почти 99% всех атак).

Не забывайте о необходимости соблюдать элементарные правила безопасности при работе за подключённым к Сети компьютером как в офисе, так и дома!

А вот рассылки от «Современной электроники» можно открывать без опасения: они не содержат вирусов и спама. Новости и статьи на нашем сайте всегда свежие и интересуют многих специалистов. Читать журнал в электронном виде смогут все зарегистрировавшиеся на сайте www.soel.ru.

YouTube-канал «Современная электроника» становится всё интереснее: там появились первые интервью с участниками Elbrus Tech Day. Зайдите на наш канал и посмотрите, что думают разработчики процессора «Эльбрус» и компьютеров ADVANTIX на его основе о перспективах отечественной электроники!

17 марта редакция «Современной электроники» побывала в гостях у компании Keysight Technologies на конференции, посвящённой внедрению технологий 5G в России. Там мы побеседовали со многими представителями приглашённых компаний. Вскоре у нас появятся новые ролики с этой конференции.

Всего вам доброго!

Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков

Заместитель главного редактора

Д. А. Трофимов

Редакционная коллегия А. Е. Балакирев,
В. К. Жданкин, С. А. Сорокин, 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: 119313, Москва, а/я 26

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

info@soel.ru • www.soel.ru

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

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

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

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

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов.

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

© СТА-ПРЕСС, 2021

ПОДПИСКА

БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
на электронную версию журнала теперь
СТАЛА БЕССРОЧНОЙ

ПОДПИСКА на печатную версию –

это гарантированное получение журнала по любому указанному вами адресу!

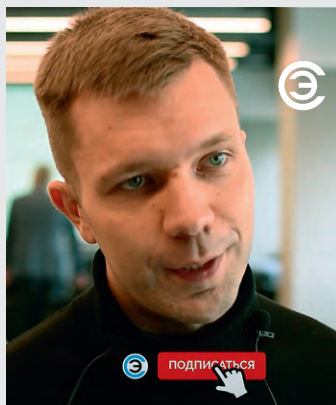
С УСЛОВИЯМИ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСКИ
можно ознакомиться на сайте www.soel.ru

СОДЕРЖАНИЕ 3/2021

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

AdvanteX	56
AdvantiX	11
CREE	63
Delta Design.	37
HARTING	78
Innodisk	15
JTAG Technologies	23
Keysight Technologies 4-я стр. обл.	
Litemax	58
Rohde & Schwarz	6, 67
Symmetron	7, 33
TopStanok. . . 2-я жёсткая вкладка	
XP Power	47
ДОЛОМАНТ.	49
ЗНТЦ . . . 4, 1-я жёсткая вкладка	
Компонента.	45
Кулон	4, 21
Магнетон	1, 5
Микроволновая электроника . . .	46
Морион	6
НПО ДиОД	7, 77
ОНИИП	43
Остек	2-я стр. обл.
ПРОСОФТ.	6
РАДЭЛ-2021	25
Связь-2021	17
Силовая электроника-2021 . . .	80
ТЕСТПРИБОР.	53, 73
Фаворит-ЭК	39
ЧипЭкспо-2021.	29
ЭкспоЭлектроника-2021	79
Эркон	5, 41

Смотрите на **YouTube-канале:**



Интервью с Максимом Соковишиным, техническим экспертом компании Keysight Technologies. В ролике специалист рассказывает о новой инициативе по созданию сообщества отечественных телекоммуникационных компаний, заинтересованных в продвижении технологий 5G.

РЫНОК

4 Новости российского рынка

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

8 Коммуникации в эпоху 6G. Часть 2

Хариш Вишванатан, Пребен Могенсен

16 Терагерцовая квантовая медицина как возможный альтернативный способ эффективной борьбы с коронавирусом

Амина Азизова, Ольга Бычкова, Виктор Войтович, Александр Гордеев,
Дарья Николаева, Елизавета Стрюкова

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

24 SuperCell: достижение новых высот для расширения возможностей подключения к Интернету

Алексей Лезинов

32 Электронные компоненты компании Bourns. Современные датчики давления и влажности

Юрий Петропавловский

38 Беспилотная навигация: компоненты и решения

Александр Бекмачев, Андрей Михеев, Андрей Родин

42 Модулируемый СВЧ-генератор

Алексей Ложников, Сергей Доберштейн

44 Новый сервопривод Futaba BLA21-06U-A01 для промышленных БПЛА

Алексей Кузнецов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

48 Практика использования встроенного АЦП в ПЛИС семейства MAX 10 Часть 2. Справочная информация по АЦП ПЛИС MAX 10

Павел Редькин

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

60 Расчёт величин MTBF для гибридных интегральных схем с использованием редакций военного справочника MIL-HDBK-217F, Notice 1 и 2

Ричард Миллер, перевод: Жданкин Виктор

64 Экспериментальная оценка магнитных характеристик низкочастотных магнитопроводов

Николай Лемешко, Михаил Горелкин, Павел Струнин

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

74 О первой в мире радиогамме, переданной в России 125 лет назад

Владимир Бартенев

Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ МИКРОСХЕМ, МЭМС И МИКРОМОДУЛЕЙ «ПОД КЛЮЧ»

С 10 января 2021 года АО «ЗНТЦ» ввёл в эксплуатацию мощности нового производственного комплекса сборки микросхем и электронных модулей. Модернизированный производственный блок обеспечивает возможности сборки 50 000 микросхем в месяц и резки пластин диаметром до 300 мм.



Обновлённый парк оборудования позволяет осуществлять «под ключ» контрактную сборку микросхем в металлокерамические, металlostеклянные и пластиковые корпуса. Благодаря технологическому дооснащению обеспечены уникальные возможности корпусирования и отработка новых технологий сборки под специфические задачи:

- сборка в BGA-корпуса с контактными площадками под поверхность кристалла

(возможна посадка 10 000 и более контактов);

- многослойная сборка с максимальной точностью разварки и минимальным размером контактных площадок (от 60×60 мкм) и размером кристалла от 0,1×0,1 мм;
- 3D-сборка многокристалльных модулей в различные корпуса;
- изготовление гибридных 3D-микросборок (Si, AlB5) с применением технологий flip-chip, 3D TSV.

АО «ЗНТЦ» как многофункциональный микроэлектронный комплекс контрактного производства изделий микроэлектроники обеспечивает возможности разработки электронных модулей «под ключ», включая поверхностный (SMD) и выводной (THT) монтаж компонентов на плату, монтаж корпусов BGA, изготовление жгутов с разъёмами для соединения плат.

В рамках комплексного выполнения заказов разработки изделий «под ключ» осуществляется 3D-моделирование и прототипирование корпусов изделий, что позволяет сократить расходы на отработку конструктивно-технологических решений и в краткие сроки выбрать оптимальный вариант корпуса для последующего серийного производства. При работе с малыми и средними предприятиями специалисты АО «ЗНТЦ» помогают опти-

мизировать конструктивные решения прибора под корпус заказчика, разработать КД и ТД, подобрать и приобрести комплектующие, изготовить прототипы и малые партии изделий.

Для сокращения габаритов приборов и аппаратуры используются технологии 3D-сборки, позволяющие увеличить плотность компоновки плат (PoP) и сборки многокристалльных моделей микросхем. Дополнительным преимуществом становится увеличение помехоустойчивости за счёт снижения паразитных ёмкостей и увеличение быстродействия в 1,5...2 раза. В целях обеспечения качества и надёжности изделий проводится полный комплекс приёмо-сдаточных и квалификационных испытаний для изделий категорий качества гражданской продукции и изделий специального назначения («ОТК» и «ВП»).

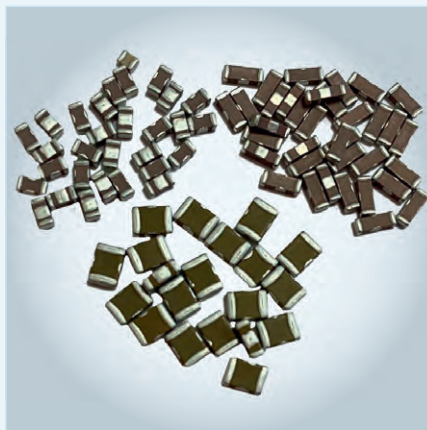
АО «ЗНТЦ» оказывает поддержку стартапам, предоставляя возможность проведения исследований с использованием высокотехнологического оборудования, изготовление опытных образцов, технической поддержки. Ключевая задача Зеленоградского нанотехнологического центра как элемента инновационной инфраструктуры – преобразование науки (НИОКР) в прикладные решения.

www.zntc.ru
+7 (499) 720-6944

НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ ООО «Кулон»

Общество с ограниченной ответственностью «Кулон» – крупнейший отечественный разработчик и производитель пассивных электронных компонентов, поставляемых в интересах Министерства обороны РФ (для обеспечения Гособоронзаказа) и изделий народно-хозяйственного назначения.

Начиная с 2017 года, после долгого перерыва, компания приступила к освоению ряда новых изделий совместно с АО «НПЦ «СпецЭлектронСистемы». По состоянию на 2021 год предприятие ООО «Кулон» успешно завершило четыре опытно-конструкторские работы, в рамках которых были разработаны многослойные варисторы ВР-18, ВР-19, трубчатые конденсаторы К10-89, серия конденсаторов К10-90 и керамические помехоподавляющие фильтры Б36.



Изделия серии К10-90 в первую очередь примечательны тем, что впервые в России появились керамические конденсаторы типоразмера 0402 с категорией качества «ВП», а также, благодаря использованию тонких керамических плёнок при сборке группового пакета, удалось добиться более высоких значений ёмкости.

Что касается серии Б36, то стоит отметить, что это трёхвыводные помехоподавляющие фильтры для поверхностного монтажа, являющиеся аналогом изделий фирмы Murata серии NFM, которые, как и остальные перечисленные ранее изделия, освоены с приёмкой «ВП».

В настоящий момент на сайте ООО «Кулон» (www.kulon.spb.ru) в разделе «Новейшие разработки» содержится краткая информация по каждому из четырёх изделий, касающаяся области применения, габаритных размеров и электропараметров. В наличии имеются изделия для пробного предоставления Заказчику по запросу. Серийный выпуск планируется на март-апрель 2021 года.

Дополнительные вопросы можно направлять по электронной почте отдела главного конструктора (mahin@kulon.spb.ru). Готовы ответить на все интересующие вас вопросы.

www.kulon.spb.ru
+7 (812) 317-3329

Высоконадёжные резисторы и чип-индуктивности для поверхностного монтажа

АО «НПО «ЭРКОН» разработало новые серии чип-резисторов типа Р1-161 и чип-индуктивностей типа КИК1, предназначенных для использования в высоконадёжной аппаратуре с длительным сроком функционирования, в том числе в условиях глубокого вакуума (до 10^{-6} мм рт. ст.).

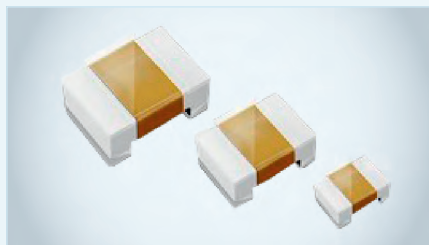
Основные характеристики чип-резисторов для поверхностного монтажа Р1-161:



- работоспособны в условиях глубокого вакуума при атмосферном давлении 10^{-6} мм рт. ст. в номинальном режиме при $P = P_{ном}$ и поддержании температуры контактных площадок $t_{кл} \leq 70^\circ\text{C}$;
- типоразмеры: 0402, 0603, 0805, 1206, 2010;
- номинальная мощность рассеяния: 0,06...0,5 Вт;
- предельное рабочее напряжение: до 200 В;
- номинальное сопротивление: 1 Ом...10 МОм;

Тип изделия	Режим эксплуатации при атмосферном давлении 10^{-6} мм рт. ст.	Гамма-процентная наработка до отказа (Т _γ), ч	Изменение параметра критерия годности, не более	Гамма
Р1-161	$P = P_{ном}, t_{кл} = 70^\circ\text{C}$	50 000	δR не более $\pm 4\%$	99 %
			δR не более $\pm 5\%$	99,9 %
	$P = 0,5P_{ном}, t_{кл} = 70^\circ\text{C}$	150 000	δR не более $\pm 4\%$	99 %
			δR не более $\pm 5\%$	99,9 %
	$P = 0,1P_{ном}, t_{кл} = 70^\circ\text{C}$	260 000	δR не более $\pm 4\%$	99 %
КИК1	Хранение	30 лет	δR не более $\pm 5\%$	99,9 %
			δR не более $\pm 1\%$	99 %
	$I = I_{доп}, t_{кл} = 125^\circ\text{C}$	50 000	δL не более $\pm 15\%$	99,5 %
	$I = 0,5I_{доп}, t_{кл} = 125^\circ\text{C}$	150 000		
	$I = 0,1I_{доп}, t_{кл} = 70^\circ\text{C}$	260 000		
	Хранение	30 лет	δL не более $\pm 10\%$	99 %

- допускаемое отклонение сопротивления, %: $\pm 1, \pm 2, \pm 5$;
 - температурный коэффициент сопротивления (ТКС): ± 100 ppm/ $^\circ\text{C}$;
 - диапазон рабочих температур: $-60...+155^\circ\text{C}$.
- Основные характеристики чип-индуктивностей для поверхностного монтажа КИК1:



- работоспособны в условиях глубокого вакуума при атмосферном давлении 10^{-6} мм рт. ст. в номинальном режиме при $I = I_{доп}$ и поддержании температуры контактных площадок $t_{кл} \leq 125^\circ\text{C}$;

- типоразмеры: 0402, 0603, 0805, 1008, 1206;
- номинальная индуктивность 1 нГн...10 мкГн;
- допускаемое отклонение индуктивности, %: $\pm 2, \pm 5, \pm 10$;
- добротность: более 13;
- минимальная резонансная частота: 0,02...12,9 ГГц;
- сопротивление обмотки постоянному току: 0,03...17 Ом;
- допустимый ток обмотки: до 1360 мА;
- диапазон рабочих температур: $-60...+140^\circ\text{C}$.

Чип-резисторы Р1-161 и чип-индуктивности КИК1 подвергаются электрическим и температурным тренировкам, в процессе которых проходят тщательную отбраковку.

Более подробная информация о новинках и серийно выпускаемой продукции представлена на сайте www.erkon-nn.ru.

Коаксиальные делители-сумматоры мощности НЧ-ВЧ-СВЧ-диапазонов для применения в радиоэлектронных системах и комплексах

«Завод Магнетон» освоил выпуск коаксиальных делителей-сумматоров мощности в 7 конструктивных исполнениях. Приборы представляют собой многополюсники с 3...9 входами-выходами, обеспечивают работу в жёстких условиях эксплуатации и имеют категорию качества «ВП». Делители-сумматоры различаются диапазонами рабочих частот, коммутируемой мощности, массогабаритными параметрами и превосходят ана-

логи известных зарубежных производителей по электрическим параметрам и надёжности.

Изделия применяются в аппаратуре радиоизмерительных комплексов, в многоканальных системах приёма-передачи информации широкополосных сигналов, работают с высокой динамической нагрузкой, обеспечивают высокую пропускную способность, могут работать при низких уровнях атмосферного давления, могут быть использованы и аттестованы для применения в бортовых системах аэрокосмической техники:

- гамма-процентная наработка до отказа Т_γ приборов при $\gamma = 95\%$ в режимах и условиях, допускаемых ТУ, не менее 100000 ч, (в облегчённом режиме 120 000 ч) в пределах срока службы Тсл не менее 25 лет;

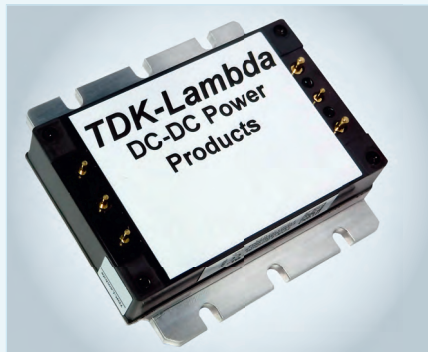
- приборы, стойкие к воздействию механических, климатических факторов и специальных сред со значениями характеристик, соответствующими группе унифицированного исполнения 4У, и выдерживающие синусоидальные вибрации в диапазоне от 10 до 2000 Гц с амплитудой ускорения 20 g, механический удар одиночного действия длительностью ускорения до 5 мс со значением 200 g и удар многократного действия до 150 g при той же длительности;
- приборы изготовлены в корпусе, обеспечивающем высокую коррозионную стойкость.

www.magneton.ru
sales@magneton.ru
 +7 (812) 213-3535

Условное обозначение приборов	Рабочая полоса частот, МГц	Развязка между каналами, не менее, дБ	Вносимые потери, не более, дБ	Разбаланс фаз между каналами, не более, °(град)	Разбаланс амплитуд между каналами, не более, дБ	КСВН	Рвх. средняя/Ррассеяния, Вт, не более	Рабочие температуры, °С	Масса, не более, г
ФПХНЗ-1	0,1...400	15	3,75	4	0,3	1,30	1,0/0,125	-60...+85	40,3
ФПХНЗ-2	2...1200	16	4,5	3	0,5	1,30	0,5/0,125	-60...+85	20,3
ФПХНЗ-3	2...750	18	6,4	7	0,5	1,50	1,0/0,5	-60...+85	75,3
ФПХНЗ-4	1...30	25	6,2	3	0,1	1,25	200/-	-60...+85	1400
ФПХНЗ-5	4...1000	15	8,5	8	0,7	1,65	1,0/0,25	-60...+85	85,3
ФПХНЗ-6	600...1700	18	8,7	7	0,5	1,45	10,0/0,875	-60...+85	180
ФПХНЗ-7	2...250	18	10,6	8	0,5	1,40	1,0/0,62	-60...+85	85,3

НОВЫЕ DC-DC ФИЛЬТРЫ СЕРИИ FQA ОТ TDK-LAMBDA ДЛЯ ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Корпорация TDK-Lambda объявляет о выпуске новой линейки ЭМС-фильтров серии FQA. Данные фильтры предназначены для схем питания постоянного тока широкого спектра применений, включая бортовые и прочие жёсткие условия эксплуатации. Устройства интегрированы в корпус формата quarter-brick с фланцевым или бесфланцевым вариантом исполнения, а также могут быть заказаны со стандартной ($-40...+115^{\circ}\text{C}$) или расширенной ($-55...+115^{\circ}\text{C}$) программой климатических испытаний.



Фильтры предназначены для работы в цепях с токами до 20 А и номиналами напряжений до 40 В положительной или отрицательной полярности, а их электрическое

сопротивление минимизировано до 12 мОм, что позволяет максимально снизить потери мощности.

Устройства отвечают стандарту безопасности UL/EN/IEC 60950-1, протестированы в соответствии со стандартами MIL-STD-883F и MIL-STD-202G и имеют устойчивость к кратковременным перенапряжениям в соответствии с MIL-STD-1275D и RTCA/DO-160G.

Продукт имеет трёхлетнюю гарантию, а более подробную информацию о нём можно получить у официального дистрибьютора TDK-Lambda в России – компании «ПРОСОФТ».

www.prosoft.ru

АО «Морион» выпустило новую версию генератора ГК336

Устройство ГК336R разработано специально для применения в качестве опорного генератора при проведении измерений на анализаторах ФШ и девиации Аллана, не требующих сведения по частоте каналов измеряемого и опорного генераторов. В генераторе применены кварцевые резонаторы, изготовленные по специальной технологии без настройки по частоте, что придаёт генератору следующие особенности:

- более низкий уровень девиации Аллана за 1 с (до 7Е-14) и ФШ на отстройке 1 Гц

(до -126 дБн/Гц) по сравнению со стандартной версией ГК336;

- частота генератора отстроена от номинала, что позволяет избежать влияющих на результат измерения биений, вызванных взаимодействием частоты измеряемого и опорного генераторов.

В генераторе не предусмотрена функция управления частотой. ГК336R имеет крайне высокую температурную стабильность до $2\text{E}-11$, что позволяет минимизировать влияние изменения температуры окружающей среды на результат измерения.

Генератор подходит для проведения измерений на приборах Microsemi 5120A,



Microsemi 3120A, Anapico PNA7, NoiseXT DCNTS и аналогичных.

www.morion.com.ru/oscillators

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ROHDE & SCHWARZ ПРЕДСТАВЛЯЕТ НОВЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР ЦЕПЕЙ ДО 26,5 ГГц

Новый продукт компании Rohde & Schwarz – полноценный двухпортовый портативный анализатор цепей R&S ZNH с функциями анализа АФТ/антенн и измерения полной матрицы S-параметров. Обе эти функции доступны в базовом исполнении. R&S ZNH простой в управлении, легко конфигурируемый и компактный прибор, идеально подходящий для полевых испытаний.

R&S ZNH позволяет определить неисправные ВЧ кабели и компоненты коммуникационных систем. Также с помощью R&S ZNH можно измерять СВЧ-компоненты в лабораторных и полевых условиях до 26,5 ГГц. R&S ZNH является образцовым прибором при решении стандартных измерительных задач, таких как анализ кабелей и антенн и полные двухпортовые измерения S-параметров. В анализатор встроены ступенчатые аттенюаторы приёмника на обоих

измерительных портах, что предохраняет их от возможной перегрузки. Архитектура R&S ZNH с четырьмя приёмниками поддерживает методику калибровки UOSM. Лучшие в своём классе ВЧ-характеристики и особенности анализатора, такие как низкие шумы трассы (0,0025 СКЗ), 100 дБ динамического диапазона, выходная мощность в 0 дБм и 16001 измерительная точка делают R&S ZNH идеальным решением для запуска и обслуживания систем связи и исследования СВЧ-компонентов.

Дополнительные опции R&S ZNH, такие как измерение мощности, импульсные измерения, измерение абсолютных значений мощности и их отношений позволяют выполнять работы, связанные с обслуживанием и ремонтом радарных или спутниковых систем.

Вес анализатора всего 3 кг, небольшой размер, отсутствие активного охлаждения, долгое время работы от батареи и удобные в использовании, даже в перчатках, клавиши прибора делают R&S ZNH идеальным



прибором для работы в полевых условиях. 7-дюймовый мультитач-экран работает с поддержкой жестов, схожих с управлением смартфонами, что повышает эффективность работы и скорость привыкания к интерфейсу прибора.

www.rohde-schwarz.com

Новая серия AC/DC-блоков питания Murata PS мощностью 650 Вт для медицинского и промышленного применения

Компания Murata Power Solutions анонсировала выход новой серии открытых AC/DC-источников питания мощностью 650 Вт. Серия PQU650 обладает самой высокой удельной плотностью мощности на рынке источников питания с кондуктивным или конвекционным охлаждением. Источники имеют множество стандартных функций, включая широкий диапазон регулировки выходного напряжения и вспомогательную шину питания, при конкурентной цене.

Блоки имеют размеры всего 6 × 4 дюйма при высоте 1U и универсальный диапазон входного напряжения от 90 до 264 В (AC).

Использование новейшей топологии обеспечивает уровень эффективности мирового класса — до 95%. В устройствах мощностью до 450 Вт при температуре окружающей среды до +50°C требования к системному вентилятору не предъявляются, а с принудительным воздушным охлаждением всего лишь 300 м/с доступная выходная мощность возрастает до 650 Вт при температуре окружающей среды +50°C. Кроме того, блоки серии PQU650 способны выдавать 800 Вт полезной пиковой мощности в течении 30 с, что позволяет работать на ёмкостную и индуктивную нагрузку.

Разработанный для промышленных и медицинских приложений, PQU650 пред-



ставляет собой AC/DC-преобразователь открытого типа в U-образном алюминиевом корпусе, сертифицированный в соответствии с медицинскими стандартами EN 60960 и IEC 60601 3rd Edition, удовлетворяющий требованиям 2 × MOPP «вх-вых» и 1 × MOPP «вх-корпус». Стандартное значение напряжения изоляции составляет 4 кВ (AC) «вх-вых» и 1500 В (AC) «вх-корпус».

В серию входит десять моделей с выходными номиналами от 12 до 54 В и от 12,1 до 54,2 А. Стандартные функции: сигнал о включении питания, дистанционное вкл/выкл, а также вспомогательный выход 5 В при 0,5 А и питание вентилятора с выходным напряжением 12 В при 0,6 А. Защитная крышка предлагается в качестве дополнительной опции, также доступны ва-

рианты с винтовыми клеммами или вставными разъёмами.

PQU650 идеально подходит для промышленных и медицинских устройств, где есть ограничения по размеру, для устройств «без вентилятора», где критичны шум и обслуживание, а также для использования в устройствах с переходной нагрузкой, которые требуют, чтобы блок питания обеспечивал большую мощность в течение короткого времени. Помимо прочего блоки могут быть использованы в телекоммуникационном и испытательном оборудовании, рекламных вывесках, информационных мониторах, АТЕ, сценическом освещении, PoE и цифровых базах хранения данных.

murataPS@symmetron.ru

Новейшие тестер-стенды ТМ Москвичка, для проверки антистатических браслетов и обуви запущены в серию

Использование тестера для проверки антистатического браслета является надёжным способом убедиться, что система браслета работает правильно. Тестер-стенд измеряет сопротивление системы браслет-оператор и обеспечивает индикацию «прошёл»/«не прошёл». Периодичность тестирования может варьироваться от одного раза в начале смены до нескольких раз в день. В НПО ДиОД были разработаны и запущены в серийное производство несколько типов тестер-стендов для контроля браслетов и обуви:

- тестер-стенд ТС-1 для проверки браслетов и обуви. Он может использоваться как совместно с пластиной для тестирования антистатической обуви, так и отдельно, только для тестирования антистатических браслетов;



- тестер-стенд с выходным сигналом ТС-2 для проверки браслетов и обуви. Данная серия поставляется либо в комплекте с электромагнитным замком, либо встраивается в турникет, таким образом осуществляя контроль доступа в зону, защищённую от статического электричества.

Тестеры производства НПО ДиОД поставляются с сертификатом первичной калибровки, в дальнейшем калибровка тестеров производится с помощью калибратора тестер-стенда (КС-1) производства НПО ДиОД.

www.npo-diod.com
diod@npo-diod.com
 +7 (495) 150-5317

Коммуникации в эпоху 6G

Часть 2

Хариш Вишванатан, Пребен Могенсен (Nokia Bell Labs)

В статье рассматриваются перспективы внедрения сети 6G, при этом внимание уделяется не только технологиям, но и человеческой трансформации, которая ожидается с приходом шестого поколения связи. Такой подход помогает получить представление о требованиях к производительности и принципах проектирования 6G.

В первой части статьи мы рассказали о свойствах сетей поколения 6G и о принципиально новых возможностях, которые откроются благодаря появлению этих сетей. Вторая часть статьи посвящена рассмотрению необходимых для создания сетей нового поколения технологий.

Шесть ключевых технологий для 6G

Развёртывание сети 6G ознаменуется появлением ряда новых важных технологий, которые формируют систему связи. По-настоящему фундаментальные новые технологии обычно внедряются через десять лет или больше с момента изобретения. Ввиду этого по-настоящему новые технологии, формирующие 6G, должны существовать сегодня хотя бы на уровне исследовательских концепций. Продолжая тему «шести» для 6G, авторы статьи определили шесть потенциальных технологических преобразований, которые станут частью системы:

1. проектирование и оптимизация радиоинтерфейса на основе искусственного интеллекта и машинного обучения;
2. расширение спектра и появление новых когнитивных методов совместного использования спектра;
3. интеграция систем локализации и зондирования;
4. достижение высоких требований к производительности по задержке и надёжности;
5. новые парадигмы сетевой архитектуры, включающие подсети и конвергенцию RAN-ядра;

6. новые схемы безопасности и конфиденциальности.

Каждый из пунктов описан в следующих подразделах.

Растущая роль искусственного интеллекта и машинного обучения

Методы искусственного интеллекта и машинного обучения (особенно глубокого обучения) быстро развиваются последнее десятилетие. Сегодня эти методы занимают центральное место в нескольких областях: классификации изображений, компьютерном зрении, поддержке социальных сетей и безопасности. Эти методы применяются в областях, где для обучения легко доступны значительные объёмы данных. Обучение с подкреплением сигналами от среды взаимодействия начинает применяться во множестве приложений для управления роботами после различных демонстраций возможностей в игровых средах, таких как AlphaGo (программа для игры в го, разработанная компанией Google DeepMind в 2015 году).

В последнее время появилась масса работ, исследующих применение методов глубокого обучения в беспроводных системах. В ближайшие несколько лет обучение беспроводных систем и машинное обучение будут применять-

ся к 5G как минимум тремя различными способами.

Во-первых, есть потенциал для замены некоторых из основанных на модели алгоритмов Уровня 1 и Уровня 2, таких как выбор канала, выделение пакета данных, балансирование и планирование пользователей сети. Во-вторых, эти способы, вероятно, будут широко применяться при оптимизации развёртывания, например для настройки оптимального подмножества лучей, с помощью которых будет обеспечиваться зона покрытия с учётом структуры трафика каждой отдельно взятой соты. Учитывая сложность систем 5G с точки зрения огромного количества параметров, которые необходимо настроить во время развёртывания, методы искусственного интеллекта и машинного обучения будут играть важную роль в оптимизации сети без вмешательства человека. Можно предположить и некоторые другие варианты использования, такие как повышение точности локализации конечных устройств внутри 5G методом машинного обучения.

В дополнение к использованию ИИ и МО в сетях радиодоступа эти инструменты станут необходимыми создания для бесшовной сетевой автоматизации 5G в случаях сложного взаимодействия между несколькими сетевыми доменами и уровнями. Это позволит динамично адаптировать сетевые и облачные ресурсы в соответствии с меняющимися требованиями: быстро развёртывать новые сервисы и устранять сбои, при этом значительно экономить на эксплуатационных расходах.

Системы 6G будут полагаться на ИИ и МО в намного большей степени, чем 5G. Должен произойти переход от ИИ как просто инструмента для автоматизации отдельных функций к ИИ как фундаменту для проектирования и оптимизации интерфейса, с возможностью самооптимизации передатчиков и приёмников, когнитивным использованием спектра и высокой контекстной осведомлённостью.

Самооптимизирующиеся передатчики и приёмники

Сегодняшние исследования показывают, что системы глубокого обучения могут научиться общаться с использо-

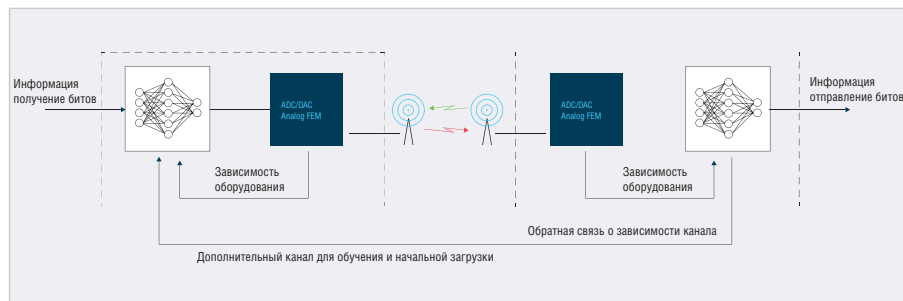


Рис. 5. Системы сквозного обучения, адаптирующиеся к оборудованию и каналам



Зеленоградский
нанотехнологический
центр

Микросхемы, МЭМС
и микромодули

КОНТРАКТНАЯ СБОРКА

- Сборка и испытание микросхем, МЭМС и датчиков «ПОД КЛЮЧ»:
 - контактные площадки - от 60 мкм
 - точность разварки - 0,1 мм
 - многовыводные ИС - до 1500 выводов
 - сборка в BGA, LGA, QFN и другие корпуса
- 3D многокристальные модули:
 - гибридные СВЧ модули (Si, AlN)
 - flip-chip, TSV
 - проволоочная разварка

Контакты:

+7 (499) 720-69-44
microsborka@zntc.ru
zntc.ru

Герметизация:

- паяные корпуса
- корпус open-cavity

Тип корпусов:

- металлокерамические
- стеклянные
- пластиковые

Возможности:

партия от 20 до 200 тыс. шт.
резка пластинах до 300 мм



Зеленоградский
нанотехнологический
центр

ИЗДЕЛИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

СБОРКА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

- ТHT и SMD монтаж компонентов на плату
- Автоматизированная сборка больших партий
- Монтаж до 5000 планарных компонентов в час
- Установка разъемов и распайка кабелей
- Проведение испытаний и сборки с приемкой ОТК и ВП
- Разработка КД изделий «ПОД КЛЮЧ»
- Оптимизация конструкторских решений под корпус заказчика
- Подбор и закупка комплектующих
- Миниатюризация изделий за счет технологий микросборок (PoP, SiP)
- 3D моделирование, прототипирование и изготовление корпусов изделий

+7 (499) 720-69-44
kp@zntc.ru
kp.zntc.ru



МОНТАЖ от 1 дня

Сверхсрочное выполнение работ

ПРОИЗВОДСТВО от 1 шт

Изготовление прототипов и малых партий

Работы «ПОД КЛЮЧ»

Выполнение полного цикла производства изделий

ванием квазистатических связей более эффективно, чем основанные на моделях системы. Никаких волн специальной формы, последовательностей или опорных сигналов заранее конфигурировать не требуется. Благодаря интенсивной тренировке сеть глубокого обучения на передатчике и приёмнике учится выбирать метод настройки этих параметров самостоятельно (см. рис. 5). Хотя такой подход к сквозному обучению может оказаться невозможным для сложных, динамично изменяющихся многопользовательских сред, структура связи 6G будет спроектирована таким образом, чтобы позволять в реальных условиях автоматизировать некоторые инженерные решения. Это позволит оптимизировать характеристики радиоинтерфейса на основе выбора спектра, среды, развёрнутого оборудования и целевых требований.

Одним из важных достижений станет учёт возможностей оборудования при оптимизации инфраструктуры связи. При таком подходе радиоинтерфейс разработан с учётом некоторых практических ограничений на реализацию. Ожидается, что в будущем усовершенствованный интерфейс сможет адаптироваться к возможностям оборудования, а устройства получают необходимую функциональность для работы с радиоинтерфейсом.

Например, определённое устройство может иметь ограниченное разрешение аналого-цифрового (АЦП) или цифро-аналогового преобразования (ЦАП), которые могут быть приняты во внимание обучающими системами для определения оптимального сигнала.

Использование когнитивного спектра

Благодаря более высоким характеристикам распространения вне прямой видимости по сравнению с высокочастотными полосами низкочастотный спектр по-прежнему будет иметь первостепенное значение для покрытия большой площади. В течение следующего десятилетия значительная полоса нового спектра будет выделена под 5G. Это, вероятно, приведёт к исчерпанию спектра в полосах ниже 6 ГГц.

Таким образом, в эпоху 6G потребуются новые методы использования спектра частот даже в рамках лицензированного режима использования спектра, чтобы обеспечить лучший локальный доступ и сосуществование с другими пользователями. Операто-

рам может потребоваться разделение спектра вещания между собой и другими частными выделенными сетями. Несколько поколений технологий начнут сосуществовать и совместно использовать спектр внутри инфраструктуры одного оператора.

Благодаря достижениям в области радиотехнологий, позволяющим использовать многополосную работу, и методам машинного обучения, таким как глубокое обучение с подкреплением, значительно облегчится эффективное совместное использование спектра частот.

Передовые методы формирования и уплотнения направленного сигнала локализуют использование спектра. В этом есть свои плюсы: облегчается более широкое повторное использование спектра и, следовательно, можно добавить различные формы сосуществования между полезными когнитивными системами совместного использования.

Контекстная зависимость

Ещё одно важное развитие в рамках 6G – это беспроводная интеграция осведомлённости об окружающей среде, трафике, мобильности и местоположении для оптимизации схем связи с помощью новых методов ИИ и МО. Например, в производственных цехах видеокamеры смогут в реальном времени фиксировать присутствие, движение машин и устройств. Оптимизировать связь можно будет с помощью глубокого обучения, акцентированного на прогнозировании изменений в среде распространения.

По сути, новые методы сбора и обработки данных помогут снизить хаотичность в каналах связи. Шаблоны долгосрочной мобильности могут быть получены в и вне помещений, а затем использованы для оптимизации обслуживания. Ещё одним важным элементом будущих систем окажется использование пассивных элементов с цифровым управлением, таких как крупные мета-объекты. Эти объекты, вероятно, окажутся целыми производственными помещениями. Определение оптимального способа управления этими новыми элементами может оказаться трудозатратным. Например, будет сложно точно смоделировать распространение сигналов. Вероятнее всего, и эта проблема будет решена с помощью искусственного интеллекта и машинного обучения.

Семантические знания более высокого уровня о том, как используются коммуникации, например для игр, управления роботами или целыми фабриками с помощью дополненной реальности, будут извлекаться из шаблонов действий внутри трафика и характеристик устройств. Точная персонализация обслуживания вплоть до нижних уровней коммуникации будет обеспечиваться с помощью методов машинного обучения.

Трансферное и федеративное обучение начнут играть решающую роль. Системы сначала будут обучаться в автономном режиме в симуляционных средах так, чтобы можно было установить базовые коммуникации, затем начнётся обучение в реальных условиях для оптимизации производительности.

Таким образом, обучение перенесётся из симуляции в реальность. Чтобы проводить сквозные операции, устройства и сетевая инфраструктура должны взаимообучаться, и здесь федеративное обучение имеет огромное значение. Вместо разделения больших массивов данных между различными устройствами и сетью будут совместно использоваться готовые модели. На более высоких уровнях потребуется глубокое обучение для оптимизации распределения ресурсов и контроля различных параметров. Иерархическое и мультиагентное обучение с подкреплением необходимо будет использовать на разных узлах.

Использование новых диапазонов спектра

Потребность в более высоких пиковых скоростях и пропускной способности постоянно подталкивают системы мобильной связи к использованию спектра более высоких частот. Для 5G в различных регионах уже были выделены новые полосы спектра от 3 до 6 ГГц и от 24 до 50 ГГц. В рамках очень гибкой структуры 5G возможны совершенно новые конструкции физического уровня с переходом на сигналы с одной несущей. Основной проблемой при использовании диапазонов высоких частот является стоимость устройств с высокой выходной мощностью. В передатчиках с узким лучом для увеличения эквивалентной изотропноизлучаемой мощности (ЭИИМ) и дальности действия используются массивные антенные решётки. Распространение высокочастотного сигнала также представляет проблему, поскольку сиг-

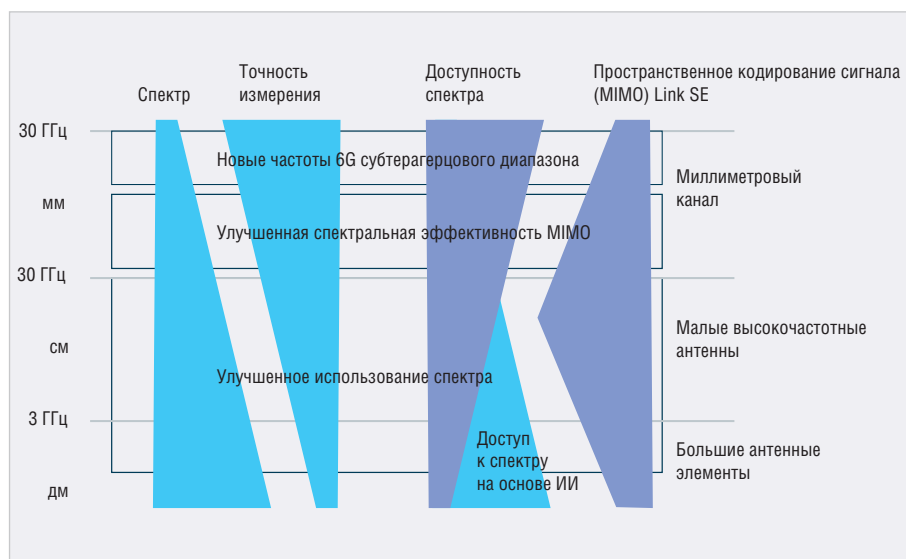


Рис. 6. Варианты спектра для 6G

нал легко экранируется из-за небольшой длины излучаемой волны. Дифракция высокочастотных радиоволн вокруг препятствий незначительна, а их поглощение водой – существенно. С другой стороны, в плотной городской среде отражения от зданий обеспечивают покрытие вне прямой видимости вдоль той же улицы или коридора, где находится точка доступа.

Тенденция к использованию всё более широких полос спектра будет продолжаться. С появлением 6G субтерагерцовые диапазоны от 114 до 300 ГГц (см. рис. 6) станут доступными и будут использоваться в сотовых системах. Очевидным вариантом использования субтерагерцового спектра является магистральная связь в интегрированных сетях доступа и транспортных сетях. Узконаправленная двухточечная связь может освободить спектр для доступа в миллиметровых диапазонах. Другие возможные варианты использования – связь на малых расстояниях между дисплеями и вычислительными устройствами, между стойками в быстро развёртываемых периферийных центрах обработки данных.

Значительный объём текущих исследований по совершенствованию систем миллиметрового диапазона также будет полезен для развития систем субтерагерцового диапазона. Первоначальная разработка устройств для работы в этих диапазонах будет следовать подходу, установленному сегодня в системах миллиметровых волн (mmWave). Будут реализованы новые радиочастотные интегральные схемы (РЧ-ИС) со встроенными или бортовыми антен-

ными решётками и фазовращателями, способными формировать узкий пучок лучей. Могут появиться снижающие стоимость устройств новые компонентные технологии, такие как антенна-на-стекле.

Гибридное формирование диаграммы направленности потребуется для получения огромных мощностей с использованием однопользовательского или многопользовательского многоканального интерфейса (MIMO). Могут появиться новые архитектуры приёмников с предварительной гребенчатой фильтрацией. Чтобы снизить энергопотребление, исследуются новые формы сигналов для одноканальных преобразователей, разработанные с использованием методов ИИ и МО.

Задержка распространения сигнала по антенной решётке становится сравнимой с длительностью символа кода, следовательно, потребуются новые схемы обработки сигналов. Для доступа в этих диапазонах спектра потребуются новые модели использования.

Помимо освоения полос субтерагерцового спектра, более дешёвые методы массового MIMO позволят гораздо лучше использовать спектр в миллиметровых и сантиметровых диапазонах. Ранние системы mmWave основывались на аналоговом формировании луча и, следовательно, ограничивалось количество пользователей, которых можно было одновременно обслуживать одной станцией. По мере увеличения плотности сети и снижения затрат на массовые технологии MIMO многопользовательский MIMO будет широко применяться в миллиметровых диапазонах.

Сегодняшние высокие частоты во времена 6G станут средними. В диапазонах самых низких частот для 6G, а именно в нижней границе сантиметрового диапазона, массовое использование MIMO постепенно ограничится большими габаритами антенных элементов. У субгигагерцовых частот основные характеристики затухания сигнала и его проникновения в материал намного лучше. Во времена 6G низкочастотные диапазоны останутся важными для покрытия больших площадей.

Так как доступность спектра ограничена, важны исследования по увеличению эффективности использования спектра для нижних частотных диапазонов. Определение спектра перейдёт от статического разделения между операторами и услугами к гораздо более динамичному доступу к спектру на основе ИИ с учётом времени, частоты и пространства (см. рис. 6).

Сеть с шестым чувством

Одно из важнейших требований к промышленной автоматизации – высокая точность позиционирования. Глобальная навигационная спутниковая система с кинематикой в реальном времени (RTK GNSS) может обеспечить высокоточную локализацию в условиях хорошей видимости со спутника. Но многие сценарии автоматизации будут использоваться в помещениях, в которых раньше автоматизацию было невозможно реализовать.

Текущий подход к решению проблемы позиционирования заключается в использовании специализированных систем, основанных на сверхширокополосной (UWB) или Bluetooth Low Energy (BLE) технологиях, и требует установки дополнительных точек доступа и специальных устройств. Отдельная система для позиционирования в дополнение к системе связи влечёт за собой дополнительные же расходы на инфраструктуру и обслуживание, которых можно избежать, если точную локализацию будет способна выполнять сама система связи. Технология 5G включает возможности для повышения точности позиционирования и может стать единой системой как для сверхнадёжной связи с малой задержкой (URLLC), так и для локализации в средах промышленной автоматизации.

По мере приближения к технологиям 6G, в дополнение к высокоточной



CompactPCI ■ Компьютеры специального назначения

Блочные корпуса с различными механическими характеристиками, в том числе с ударопрочностью до **25g**

Эффективное электромагнитное экранирование

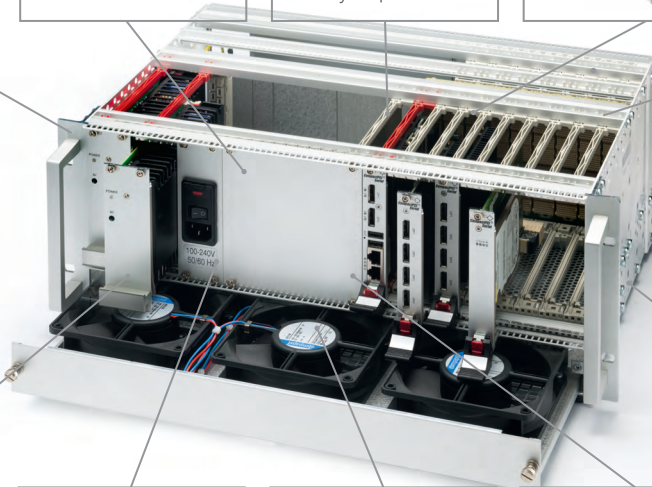
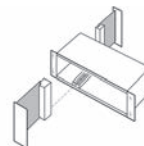


Процессорные модули PICMG 2.0, 2.16, 2.30; CPCI-S.0 (Serial) на различных процессорных платформах AMD и Intel для работы в жёстких условиях эксплуатации

Кросс-платы и модули расширения PICMG 2.0, 2.16, 2.30, CPCI-S.0 (Serial)



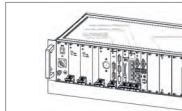
Подключение модулей тыльного ввода-вывода



Источники питания одинарные или резервированные: встраиваемые или в виде сменных блоков



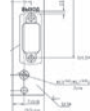
Панели ввода с клеммами заземления и разъёмами питания разных типов



Вентиляторы с возможностью «горячей» замены. Система охлаждения, в том числе с кондуктивным отводом тепла



Лицевые панели универсальные и заказные для вставных блоков



Различные габариты и варианты компоновки



локализации, сети научатся выполнять различные задачи обнаружения. Решения по локализации будут усовершенствованы для достижения точности локализации на сантиметровом уровне в помещениях с большой площадью, в которых для большинства точек доступа ограничена прямая видимость. Новые методы построения диаграмм каналов, основанные на ИИ и МО, будут применяться в построении больших систем антенных решёток, а также для объединения данных по радиочастотам, камерам и датчикам на роботах. Всё это улучшит точность обнаружения даже при ограниченном количестве видимых точек доступа.

Системы 6G будут использоваться для визуализации пассивных объектов. Системы оптимизируют не только для связи, но и для обнаружения объектов. Например, сигналы формы, подходящей для локализации положения объектов, такие как сигналы с линейной частотной модуляцией, могут быть мультиплексированы с сигналами, оптимизированными для связи.

Большие антенные решётки, развернутые для массовой связи ММО, могут формировать узкие диаграммы направленности и их можно использовать для определения положения объектов. Несколько передатчиков и приёмников смогут координироваться и тем самым улучшать возможности распознавания в сети. Переход к субтерагерцовому и терагерцовому диапазонам с соответствующей широкой полосой пропускания сигналов увеличивает возможности для точного зондирования.

Получение изображений с точностью до миллиметра с использованием инфраструктуры терагерцового диапазона откроет множество новых вариантов использования в промышленной автоматизации и здравоохранении. Например, можно будет находить дефекты в процессе экструзионного производства или обнаруживать раковые новообразования в полости рта.

Существует множество приложений, которые выиграют от превращения радиоточек в датчики. Легче будет контролировать качество продуктов в супермаркетах, можно будет разместить невидимые металлоискатели или заменить системы ворот безопасности на предприятиях.

Сочетание возможностей мультимедиа с когнитивными

технологиями, доступными на платформе 6G, позволит анализировать поведенческие модели, предпочтения и даже эмоции людей, тем самым создавая «шестое чувство», превосходящее потребности пользователей. Это позволит интуитивно взаимодействовать с физическим миром.

Работа сетей в экстремальных условиях

Новые сценарии использования промышленного Интернета вещей (IIoT), нацеленные на 5G, основываются на достижении сверхнизкой задержки в 1 мс с надёжностью «пять девяток» (то есть 99,999%). Основной метод достижения целевых показателей производительности – использование мини-слотов и более быстрого доступа к каналу, а также применение многосвязных каналов, для надёжности использующих несколько точек доступа и дублирование передаваемых пакетов.

Для многих случаев использования задержка в радиоканале в 1 мс неприемлема. Для замены традиционных промышленных решений проводной связи, таких как Sercos или EtherCAT, требуются существенно более низкие задержки при радиопередаче (порядка 100 мкс) в сочетании с высокой скоростью передачи данных (гигабит в секунду). Более того, фактические требования к надёжности основаны на времени простоя оборудования, который вызван множественными потерями пакетов данных. Целевой показатель надёжности для некоторых сценариев использования промышленной автоматизации должен составлять порядка «девяти девяток».

6G будет спроектирован для экономичного удовлетворения экстремальным требованиям. Недавние исследования показывают, что, вопреки общепринятому мнению, экранирование сигналов в миллиметровом диапазоне в производственных цехах не так существенно.

Опираясь на более широкую полосу пропускания, доступную в спектре миллиметровых волн, можно будет достичь чрезвычайно низких задержек при высокой скорости передачи данных. Надёжность можно повысить за счёт одновременной передачи информации по нескольким путям, представляющим собой несколько отражённых от препятствий радиосигналов. Для создания отдельных путей от сети к конкретному устройству может использо-

ваться ретрансляция через соединения «устройство-устройство». Прогнозирующее управление лучом с использованием методов прогнозирования ИИ и МО также может существенно снизить неопределённость в оценке качества канала связи.

В рамках 4G с помощью технологии Narrowband IoT (NB-IoT) был реализован беспроводной доступ с низким энергопотреблением. В эпоху 6G произойдёт переход от устройств с низким энергопотреблением к устройствам с нулевым потреблением энергии для Интернета вещей. Беспроводные устройства с нулевым энергопотреблением сегодня хорошо известны. К таким устройствам относятся метки с пассивной радиочастотной идентификацией (RFID) с недорогими активными датчиками и батареями со сроком службы от трёх до пяти лет. Единственный минус RFID-меток – их действие обычно ограничивается очень малыми расстояниями. Существует несколько сценариев использования, при исполнении которых требуются устойчивые сенсорные устройства и чрезвычайно долгое время работы.

Для осуществления технического контроля при производстве мостов или туннелей, например, желательно иметь беспроводные сенсорные устройства, которые могут встраиваться в конструкцию и работать порядка 100 лет без вмешательства человека. Будущие решения в этой области, вероятно, будут совмещать возможности связи с низким энергопотреблением, чрезвычайно мало потреблять ток в спящем режиме и аккумулировать энергию (возможно, с помощью сети связи или доступного накопителя энергии).

Концепции сетевой архитектуры 6G Подсети

Архитектура сотовой сети предыдущих поколений была разработана в первую очередь для передачи голосовых сообщений и данных в Интернете на отдельные мобильные конечные точки. 5G – первая система, ориентированная на промышленную среду и при этом отвечающая сложным требованиям. Соответствие высоким требованиям достигается благодаря принципиально новым архитектурным решениям, таким как поддержка передачи данных в реальном масштабе времени (TSN).

Чтобы по-настоящему закрепить в промышленной среде и повсюду заменить проводную связь, 6G должна обеспечивать детерминированную надёжность проводного уровня для различных сценариев подключения (см. рис. 7). От статических, изолированных устройств до взаимосвязанных устройств с локальным сообщением, быстро движущихся групп роботов и дронов, которым необходимо не только общаться между собой, но и подключаться напрямую к Сети при отключении от группы.

Для обеспечения высокой надёжности и детерминирования как во временной, так и в пространственной области имеется необходимость в полуавтономных подсетях 6G. По крайней мере, наиболее важные сервисы в подсети будут продолжать работать без перебоев, несмотря на плохое или полное отсутствие подключения к сети высшего уровня.

Для обеспечения сверхнадёжности потребуется возможность подключения через множество путей с использованием инфраструктуры и гибких соединений между устройствами. Последнее может привести к созданию настоящей бессотовой архитектуры. Интеграция подсетей 6G в единую целостную архитектуру имеет ряд преимуществ:

- подсеть 6G обеспечит высокую скорость передачи данных, чрезвычайно низкую задержку, надёжность и отказоустойчивость;
- функции безопасности и отказоустойчивости 6G распространяются на устройства самого низкого уровня в подсети;
- нагрузка по реализации сервисов 6G может динамически перераспределяться между облаком и устройством, являющимся частью подсети.

Чувствительная к задержкам связь (TSC) благодаря интеграции чувствительных ко времени сетей (TSN) и сети 5G, действующей в качестве моста TSN, эволюционирует до 6G, чтобы обеспечить собственную синхронизируемую по времени сеть, в том числе в более широких областях, связанных с мобильными приложениями.

Гиперспециализированная передача сигнала в пределах двух точек его амплитуды

Помимо разделения традиционной архитектуры подключения на различные подсети и сценарии со множе-

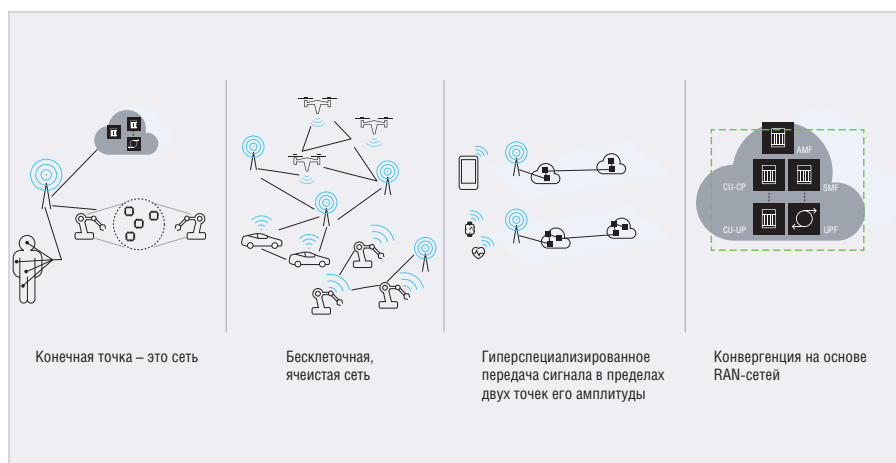


Рис. 7. Темы архитектуры 6G

ством подключений, ожидается усиление направления сегментирования и виртуализации. Слайсы могут стать узкоспециализированными, потенциально с отдельными программными стеками для различной функциональной обработки потоков (см. рис. 7). Текущая тенденция к виртуализации более высоких уровней RAN приведёт к дальнейшему разделению функций на модульные микросервисы, гибко объединяющиеся в рамках конкретных сегментов. Например, можно представить специализацию слайсов для предоставления видеослужб, включающую определённые необязательные для других слайсов микросервисы, помогающие оптимизировать видео.

Слайсы для Интернета вещей с низкой пропускной способностью могут включать функции, обеспечивающие доступ без установления соединения, в то время как другие слайсы будут всё так же предоставлять традиционное соединение. Кроме того, можно ожидать появления гибкого размещения функций для конкретных слайсов в шлюзовых устройствах, ретрансляторах, сотовых узлах, удалённых устройствах и региональных облаках на множестве различных аппаратных платформ в соответствии с потребностями конкретного слайса. Для создания таких узкоспециализированных слайсов и управления ими необходимы инновации в механизмах управления и сервисов.

Конвергенция на основе RAN-сетей

В 5G базовая станция состоит из распределённого (DU) и централизованного блоков (CU). DU включает в себя нижние уровни стека протоколов пользователя и управления, то есть физический уровень 1 и уровень реально-

го времени 2, CU включает уровень не реального времени 2 и функциональный уровень 3.

Далее CU делится на плоскости управления и пользователя с чётко определённым интерфейсом между ними. CU обычно реализуется как виртуализованная функция в периферийных или городских облаках и может обслуживать несколько DU. С другой стороны, основные функции 5G становятся всё более децентрализованными, поскольку объём трафика через ядро существенно увеличивается. Различные основные функции также виртуализируются и реализуются в периферийных или городских облаках, а порой для этого используются периферийные облака с малой задержкой.

По мере увеличения централизации функций RAN более высокого уровня и распределения основных функций, упрощение может быть достигнуто путём объединения некоторых RAN и основных функций в отдельные объекты. Таким образом, во временных рамках 6G появится сокращённый набор функциональных блоков, реализующих комбинацию 5G RAN и ядра, что приведёт к созданию «безъядерной» RAN, особенно актуальной на пользовательском уровне.

Новые парадигмы безопасности, конфиденциальности и доверия

Надёжность проводного уровня также подразумевает, что сеть спроектирована с учётом новых мер безопасности и конфиденциальности. Появление преднамеренных помех в промышленных сетях – новая угроза, от которой придётся защищать сети. Злоумышленники могут попытаться заблокировать сети за пределами промышленного объекта, поэтому физической безопасности будет недо-



Рис. 8. Иллюстрация 6G как модели платформы решений

статочно. В будущем глушение сетей может также принимать форму простой задержки доставки пакетов данных, время от времени создавать помехи. Это может серьёзно повлиять на промышленные операции, использующие чувствительные ко времени сети. Технологии 6G будут иметь механизмы защиты от таких угроз.

Определение подсетей требует изменения стратегии авторизации. Это уже авторизация не по сети, а по подсети. Если рассмотреть компьютерную сеть нательного устройства (BAN), её активы принадлежат ей полностью, и поэтому авторизация и управление активами осуществляются в пределах доверительной границы.

6G будет объединять подсети, и на сетевом уровне может потребоваться второй уровень авторизации. Различные подсети могут принадлежать ненадёжным объектам, что требует более чёткого разделения между подсетями, а также непосредственно между сетью и подсетями. Крайне важно, чтобы подсети действовали как независимая сеть, наделённая полномочиями разрешительного органа и отвечающая за управление собственными активами. Из-за динамического поведения устройств подсети, сохранение конфиденциальности подсети и анонимности пользователей станет сложной задачей, которую необходимо решить в архитектуре 6G.

После появления миров смешанной реальности, сочетающих цифровые представления реальных и виртуальных объектов, сегодняшних решений по обеспечению конфиденциальности вряд ли будет достаточно. Наряду с тем, что мультисенсорные системы позволят обнаруживать практически всё, что находится вокруг них, пользователи

захотят регулировать распространение полученного контента, которым они делятся. Пользователи должны иметь возможность простым способом устанавливать предпочтения в отношении того, чем они хотят поделиться, и обработка данных в этом смысле должна стать автоматической. Механизмы безопасности физического уровня обычно зависят от уникальности беспроводного канала для установления аутентификации, конфиденциальности и обмена ключами. Эти механизмы могут стать более «зрелыми» в период 6G, они начнут решать новые проблемы, в том числе и отстраиваться от преднамеренно создаваемых помех. Доверие к сети имеет решающее значение для успеха внедрения 6G.

6G как открытая платформа для создания высокоэффективных специализированных решений

Одним из важных факторов огромного успеха мобильной связи стали глобальные открытые стандарты. До недавнего времени в перечне услуг мобильной связи преобладали услуги, ориентированные на человека, такие как голосовая связь, служба коротких сообщений (SMS) и широкополосная передача данных с максимальной эффективностью. Сегодня в мире работает более миллиарда смартфонов, развёрнуты десятки миллионов базовых станций мобильной сети.

За последние пять лет услуги мобильной связи расширились и теперь включают промышленный Интернет вещей. Были стандартизованы энергоэффективные сети дальнего радиуса действия (LPWA), такие как NB-IoT и Cat-M. Затем возникла технология сотовой связи V2X для автомобилей. Разработа-

ны стандарты подключения беспилотников и дронов. Совсем недавно в 5G были стандартизованы ультра-надёжные коммуникации с малым временем задержки (URLLC) и протокол TSC для управления в реальном времени. Число устройств при подключении LPWA и C-V2X потенциально может достигать миллиардов единиц.

Сотовая сеть используется в промышленном Интернете вещей, но в будущем она станет частью домашних и корпоративных сред. Здесь вполне можно предположить появление потребности в гораздо более специализированных решениях для подключения. Естественными последствиями этих процессов являются значительно меньшие объёмы использования каждого специализированного решения.

Чтобы эффективно поддерживать распространение новых решений для беспроводной связи, необходимо определять и внедрять спецификацию мобильной сети как платформы с несколькими базовыми возможностями на нижних уровнях. Это потребует для различных сценариев, которые затем будут использоваться несколькими различными группами для определения спецификаций более высокого уровня и создания собственного семейства сценариев использования. Последнее может в некоторых случаях быть реализовано посредством совместной разработки программного обеспечения в рамках группы интересов или программного обеспечения с открытым исходным кодом. Это проиллюстрировано на рисунке 8. Основным преимуществом платформенного подхода являются открытые интерфейсы от платформы к специализированным уровням связи.

Чтобы обеспечить экономическую целесообразность и сосуществование служб связи, протоколы связи нижнего уровня, обычно реализуемые на аппаратном уровне, должны быть определены глобальным органом по стандартизации.

Нынешняя тенденция к развёртыванию открытых сетей радиодоступа с несколькими поставщиками, предоставляющими доступ к разным частям сети, будет дополнительно поддерживаться сетью 6G с платформенным подходом. Радиопередача и некоторые функции, требующие интенсивной обработки, останутся для реализации в специализированном оборудовании. Остальные функ-

ции будут реализованы программно, их можно будет выполнить на любом коммерческом компьютере. При этом спецификации интерфейса станут открытыми.

Таким образом, интеллектуальные уровни управления мобильной сети оптимизируются в соответствии с потребностями конкретного варианта использования и будут независимы от любого поставщика. Это также соответствует понятию следующего поколения сегментации сети, которое было описано ранее: каждый слайс сможет иметь собственную специализированную функциональность.

Мобильные сети и терминалы как таковые не являются частью технологии 6G, а, скорее, представляют новый способ эффективного и быстрого создания коммуникационных решений для промышленных и других вариантов использования внутри помещений.

Вывод

Развёртывание сотовой связи нового поколения примерно каждые десять лет будет продолжаться и в будущем. Сеть

6G станет актуальной в 2030-х годах. 6G оптимизирует и удешевит новые варианты использования, представленные в 5G, что будет способствовать масштабному внедрению новой технологии. В то же время сеть шестого поколения откроет возможности, которые трудно даже представить и тем более – подробно описать.

Вертикальное развитие мобильной сотовой связи, начавшееся с внедрения недорогих технологий Интернета вещей в 4G и сверхнадёжного Интернета вещей с малой задержкой в 5G, будет продолжаться, становясь в 6G ещё масштабнее. Быстрое развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения повысят скорость решения проблем во многих областях. Система 6G будет в основном использовать ИИ и МО для повышения производительности за счёт лучшей адаптации к операционной среде.

Растущий спрос на более высокую ёмкость и пиковые скорости указывает на технологии, использующие всё более высокие частоты. По мере увеличения плотности инфраструктуры в сочетании с использованием сигнала

с более широкой полосой пропускания в высокочастотном спектре, новые возможности для определения местоположения и зондирования будут способствовать созданию модели, оптимизированной не только для связи, но и для определения положения.

В настоящей статье были определены ключевые технологические преобразования системы 6G, имеющие наибольший потенциал:

1. разработка и оптимизация радиоинтерфейса на основе искусственного интеллекта и машинного обучения;
2. расширение спектра и новые когнитивные методы совместного использования;
3. интеграция систем локализации и зондирования;
4. достижение высочайших требований к производительности по задержке и надёжности;
5. новые парадигмы сетевой архитектуры, включающие подсети и конвергенцию RAN-ядра;
6. новые схемы безопасности и конфиденциальности.



СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В ЗОНУ ЗАЩИЩЕННУЮ ОТ ESD

Обеспечивает ежедневную проверку обуви/браслетов на соответствие стандартам

Полностью Российская разработка и производство

Контроль правильности работы браслетов и обуви

Короткие сроки поставки

Возможность ознакомиться с работой оборудования перед покупкой

Возможность интеграции с Вашей СКУД;

Система антипаника

Встроенный гидромеханический доводчик

Световая и звуковая индикация

Корпус турникета из нержавеющей стали



НПО ДиОД - официальный дистрибьютор «Москвичка» в России
г. Москва, ул. Новгородская д. 1, к. Г, оф. 211 / +7 (495) 150-53-17

www.npo-diod.com

Реклама

Терагерцовая квантовая медицина как возможный альтернативный способ эффективной борьбы с коронавирусом

Амина Азизова, Ольга Бычкова, Виктор Войтович, Александр Гордеев, Дарья Николаева, Елизавета Стрюкова

Статья посвящена терагерцовому и петагерцовому энергетическому потенциалу для экспресс-диагностики, а также абсолютно безопасным, надёжным скоростным методам подавления опасных вирусов в организме человека.

На фоне летальности от коронавируса, приближающейся к 3,0 млн человек, и коммерциализации пандемии мировой элитой возникают следующие вопросы:

- Человечество оказалось не готово к борьбе с относительно лёгкой формой пандемии с летальностью от 1,5 до 2,0% в разных регионах планеты.
- С учётом того, что страны с высоким уровнем технологического развития располагают целым набором вирусно-бактериального оружия, что произойдёт в случае утечки (может быть, сознательной) опаснейших модификаций и штаммов новых вирусов или бактерий?
- Как показали события на Ближнем Востоке, в руках отдельных террористических групп имеются огромные финансовые ресурсы. Можно ли ожидать «вирусного терроризма»?
- Можно ли в свете новейших достижений в микро- и нанобиологии, вирусологии, генетике говорить о технологиях, приводящих к мутации/проникновению той же РНК-молекулы, допустим нового штамма вируса Covid-19, в ДНК-цепочку человека, и последующем создании «зомби-клона»?
- Можно ли ожидать появления «вирусного нацизма» по расовому или национальному признаку?



Рис. 1. Вирус SARS-CoV-2

- Являются ли 6...9 месяцев поисково-испытательных работ, исследований, разработки новых вакцин гарантией безопасности цивилизации в условиях сверхкороткой инкубации новых чудовищных форм вируса?

На приведённые вопросы вряд ли есть однозначные ответы.

Вирус SARS-CoV-2 и его взаимодействие с биоэнергетикой человека

Вирус SARS-CoV-2 является РНК-содержащим вирусом, он проникает с помощью короны (белковой «биошестерёнки») в органы человеческого тела, в частности в лёгкие, мозг и др. На фоне рецидива некоторых заболеваний, таких как астма, хронический бронхит, болезни Альцгеймера, Паркинсона, могут возникать осложнения, вплоть до летального исхода.

Корона вируса, представленная на рисунке 1, является не только «транспортным» (благодаря этой функции вирус перемещается), но и защитным механизмом SARS-CoV-2. Без неё вирус Covid-19 гибнет.

Белковая ткань, чувствительная к видимому спектру излучения Солнца (0,4...0,76 мкм), распадается при ультрафиолетовой радиации Солнца (0,2...0,4 мкм) или при использовании ультрафиолетовых кварцевых стерилизаторов.

Но, оказывается, РНК-молекула вируса SARS-CoV-2 может энергетически насытиться в так называемом «чёрноволновом излучении» человеческого тела на длинах волн 5...14 мкм. Оказалось, что SARS-CoV-2 как программный природный набор молекул РНК боится активного внутреннего излучения человеческого тела и практически гибнет при

температуре человеческих органов около +40...+41°C (температура свёртывания человеческого белка около +43°C). Следовательно, при попадании внутрь человеческого тела РНК-молекула ведёт себя как энергоприёмник «чёрноволнового излучения» человеческих органов, и этим объясняются практически типовые максимальные температуры человеческого тела при заболевании вирусом Covid-19 – до +38,6...+38,8°C. Потому что при температурах тела около +40°C вирус гибнет от энергонасыщения и распада РНК-молекул.

Следовательно, SARS-CoV-2 как природный программный продукт зависит от энергетики поражаемой области клеток того или иного органа, например лёгких, и вполне возможно, для него губительно развитие острой пневмонии, когда рост температуры может оказаться бесконтрольным (вплоть до летальных значений – +43°C, когда происходит распад, свёртывание белка человеческой ткани).

Вычленив спектр излучения РНК-молекул вируса и понимая, что это не что иное как «чёрноволновое излучение» (т.е. излучение и поглощение происходит на одной и той же волне, предположим 5,5 мкм – около $(5...6) \times 10^{13}$ Гц), можно внешним излучением энергетически перегреть и разрушить белковую РНК-основу вируса, не перенасыщая ИК-энергией здоровую белковую ткань того или иного органа.

В итоге понятно, что если есть очаг вирусного поражения в лёгких, мозговой ткани, кишечнике или других органах, то можно отчётливо заметить его «корпоративное» излучение и выявить спектр этого излучения как более энергетически активный.

Спектр излучения белка коронной части вируса SARS-CoV-2 близок к спектру излучения молекулы белка человеческого организма.

Используя в лабораторных условиях ИК-спектрометры Фурье, рамановские спектрометры, широкополосные ИК-тепловизоры, спектрометры на

ПРОМЫШЛЕННАЯ МИКРО 3Д-ПЕЧАТЬ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

Уникальная технология
3D-микропечати,
позволяющая создавать
изделия с разрешением
до 2 мкм.



**Победитель премии SPIE 2021 Prism Awards
в категории «Лучшее решение для производства»**

Запас фотополимера на полгода
по промокоду **«ЭЛЕКТРОН»** БЕСПЛАТНО!

stanok@topstanok.ru 8 (800) 500-33-91 **topstanok.ru**



**РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ
ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**



**Минцифры
России**



Комитет Государственной Думы
Федерального Собрания
Российской Федерации
по образованию и науке



**ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



СВЯЗЬ

**«Информационные и коммуникационные
технологии»**

15–18 июня 2021

**33-я международная
выставка**

Организатор



ЭКСПОЦЕНТР

При поддержке:

- Министерства цифрового развития, связи
и массовых коммуникаций РФ
- Комитета Государственной Думы ФС РФ по образованию и науке

Под патронатом ТПП РФ

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.sviaz-expo.ru

12+ Реклама



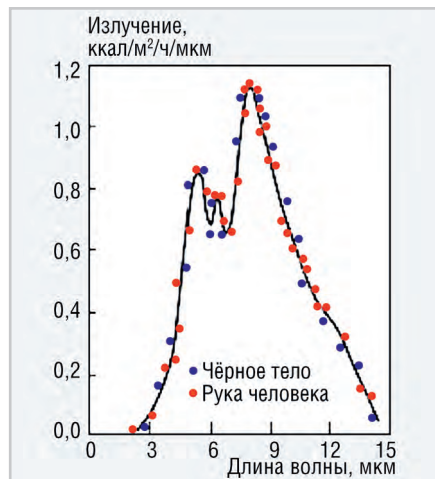


Рис. 2. Спектральное распределение термического излучения кожи руки и экспериментального чёрного тела [1]

индуктивно связанной плазме, туннельные микроскопы, в состоянии без проблем выделить не только спектрально-излучательные характеристики, но и атомно-молекулярный состав белковой ткани коронной оболочки вируса. Создав тест-характеристики, можно создать портативные приборы для индивидуальной диагностики, «откалиброванные» по спектрально-волновому признаку как на вирус SARS-CoV-2, так и на другие вирусы, допустим атипичную пневмонию или «испанку».

Человек обитает в энергмире в пределах доступных для осязания частот от 1 до 10^{20} Гц (гамма-излучение). Конечно, от энергофлюенса частоты человек может погибнуть даже при 5...8-герцовых инфразвуках (сердечно-сосудистая система, неврология), не говоря уже о частотах, например, 60 ГГц (при которых возможно насыщение организма озоном, являющимся для человека ядом) или, допустим, о частоте свыше $1,8 \times 10^{15}$ Гц/6 эВ – начало эмиссии электронов из «водно-молекулярной» клеточной системы человека (при ядерном взрыве человек – это кислородно-водородная «свеча»).

Благоприятную энергосреду для человека можно разделить на две части:

1. Энергосреда, обусловленная солнечной радиацией на частотах 7×10^{13} ... $1,5 \times 10^{15}$ Гц (от $1,8 \times 10^{15}$ Гц начинаются необратимые процессы, описанные ранее) или на длинах волн 0,2...4,0 мкм (включая видимый диапазон с $\lambda = 0,4$...0,76 мкм).
2. Терагерцовая биосреда – от 6×10^{13} Гц вплоть до 1,0 ТГц (1012 Гц). К примеру, тепловое электромагнитное излучение комнаты при $20^\circ\text{C} \approx 15$...20 ТГц

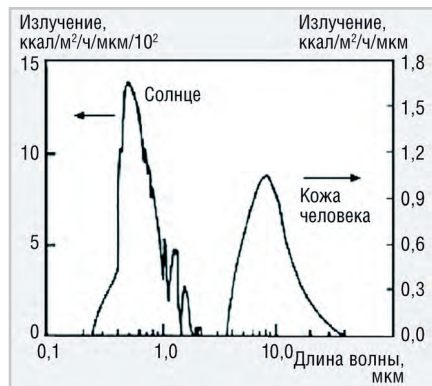


Рис. 3. Спектр излучения Солнца и «чёрных» волн человеческого тела [1]

($1,5$... $2,0$) $\times 10^{13}$ Гц; крещенской проруби – ближе к 1,0 ТГц.

Но необходимо учитывать, что есть особый энергодиапазон – так называемая «чёрная» терагерцовая энергощель, которая отражена на рисунке 2.

При этом необходимо отметить, что энергоспектры излучения солнечной радиации и «чёрноволновой» энергии излучения человеческого тела никоим образом не пересекаются, что показано на рисунке 3.

Приведённая «чёрноволновая» энергетика человека впервые была отражена в публикации [2], а также в более ранней работе академика Гуляева Ю. В. и Годика Э. Э. [3] и в работе [4] (авторы – Войтович В. Е., Гордеев А. И., Звонарев А. В.). В «чёрноволновом» диапазоне излучения/поглощения человеческого тела происходят важнейшие резонансные биохимические реакции (биосинтез белка) через энергокомплексы АТФ и далее АДФ.

Белок в SARS-CoV-2 – это модификация РНК-молекулярных соединений, имеющих, в принципе, одну и ту же энергетическую базу, что и белок здоровой ткани человеческого организма, с той лишь разницей, что РНК вируса Covid-19 энергетически более активна и, следовательно, на энергографике «чёрноволнового» излучения на рис. 2 её кластерные образования будут чётко проявляться, поскольку они энергетически выражены и сопровождаются ростом температуры до пороговой $\approx +38,8^\circ\text{C}$ (как показано ранее, температура тела человека ближе к $+40^\circ\text{C}$ опасна для вируса Covid-19 как раз из-за «чёрноволнового» излучения органов человека, например лёгочной ткани). В итоге, выявив резонансные частоты кластерных очагов Covid-19, можно создать «чёрноволновую» генерацию извне с целью энергоперенасыщения РНК-белка вируса и его свёртывания. Это так называемый

метод гипертермии, который используется в одной из клиник Нижнего Новгорода при терапии онкозаболеваний, но предлагаемый нами метод прецизионно-избирательный и может, в принципе, характеризоваться как уникальный, в т.ч. и в онкологии (без химиотерапии, хирургического вмешательства, лучевой и изотопной терапии). Предположительно, данный метод будет достаточно эффективным и при лечении бактериальных пандемий (чёрной оспы, холеры, чумы, брюшного тифа и др.), а также вирусов гриппа (различных штаммов), атипичной пневмонии, бронхита и др.

Текущие технологические инструменты терагерцовой медицины

Основателем отечественной терагерцовой медицины следует считать талантливого учёного, д.ф.м.н., профессора Баграева Н. Т., который в своих фундаментальных публикациях [1], [2] изложил сущность влияния дальнего диапазона волн на биологические объекты. На созданных терагерцовых аппаратах «ИК-Диполь», «Инфратератрон» можно успешно излечивать у пациентов ожоги, язвы, пролежни, тяжёлые травмы позвоночника, вплоть до вывода больного из шокового состояния, и даже достаточно успешно осуществлять лечение при пульманологических заболеваниях. В настоящее время Баграевым Н. Т. разрабатывается терагерцовый излучатель для глубокого проникновения в лёгочную ткань и другие органы именно в «чёрноволновом» диапазоне человеческого излучения. Эти разработки связаны с возможностью создания такого важнейшего технологического инструмента для подавления коронавируса, как метод гипертермии, т.е. искусственный разогрев поражённого вирусом органа до уровня распада РНК вируса SARS-CoV-2 с сохранением белка человеческой ткани. Частотный диапазон названных ранее установок соответствует диапазону биохимических реакций в организме ($\lambda = 1$...700 мкм, интегральная мощность до 50 мВт). Исходя из сказанного, следует ещё раз подчеркнуть, что белковая РНК-структура коронавируса имеет свой резонансный узкополосный диапазон частот излучения/поглощения. Для более глубокого проникновения терагерцовых волн нужны мощные флюенсы энергии излучения, а в вышеуказанных излучателях они в отфильтрованном «чёрно-ковидном» диапазоне не будут превышать еди-

ниц микроватт. Нужны новые излучатели на новых уникальных материалах.

Физические принципы диагностики и уничтожения коронавируса Covid-19

Хорошо известно, что большинство фотоприёмников дальнего диапазона, соответствующего «чёрной терагерцевой щели» человеческого излучения в «окнах прозрачности» атмосферы с $\lambda = 8 \dots 14$ мкм, выполняются на фотодиодных микроболометрах $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$ (КРТ). Но здесь есть две проблемы, а именно: необходима температура -77°K , и второе – это узкозонный полупроводник с фиксированной шириной запрещённой зоны, т.е. приём ИК-волн будет практически монохроматичным. Микроболометры на основе пиролитического эффекта (на базе $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Nb}_6$, LiTaO_3 и др.), а также терморезистивные тонкие плёнки (α -Si) и оксида ванадия (VO_x) не позволяют получать «неразмытые» спектры теплового излучения и обладают малой чувствительностью. Есть существенные недостатки и у микроболометров на основе графена (разработки DARPA; МФТИ, г. Долгопрудный).

Есть ли отечественные материалы для создания широкополосных сверхчувствительных в «чёрном излучении» человеческого тела микроболометров? Как ни странно, такие материалы в РФ давно разработаны и ждут своего часа, более того, на них можно создавать не только неохлаждаемые фотоприёмники «чёрноволнового излучения» на новых физических принципах, но и генераторы излучения, также основанные на новой твердотельной физике. К таким материалам относятся диэлектрические кристаллы $\text{LPE i-}_{\text{Si}}\text{GaAs}_{\text{Si}}$, представленные фирмой «Интелфаза» (г. Ульяновск) и AlN (разработанные д.-ф.м.н. Кукушкиным С. А., ИПМаш РАН, г. Санкт-Петербург [5]), а также некоторые другие кристаллы-диэлектрики $\text{A}_{\text{III}}\text{B}_{\text{V}}$ и $\text{A}_{\text{III}}\text{B}_{\text{VIT}}$, содержащие подрешётки кристалла на основе атомов Ga или Al, с ярко выраженными поляризованными или, точнее, электрон – фононно-поляроидными свойствами. Данные кристаллы по своим поляризационным свойствам почти идентичны известным кристаллам ниобата лития (NbLiO_3), применяемого в нелинейной электромагнитной оптике.

На указанных кристаллах на основе уже описанных эффектов (работы Ахманова С. А., Хохлова Р. В. [6], Гордеева А. И. [7], явления поляризации

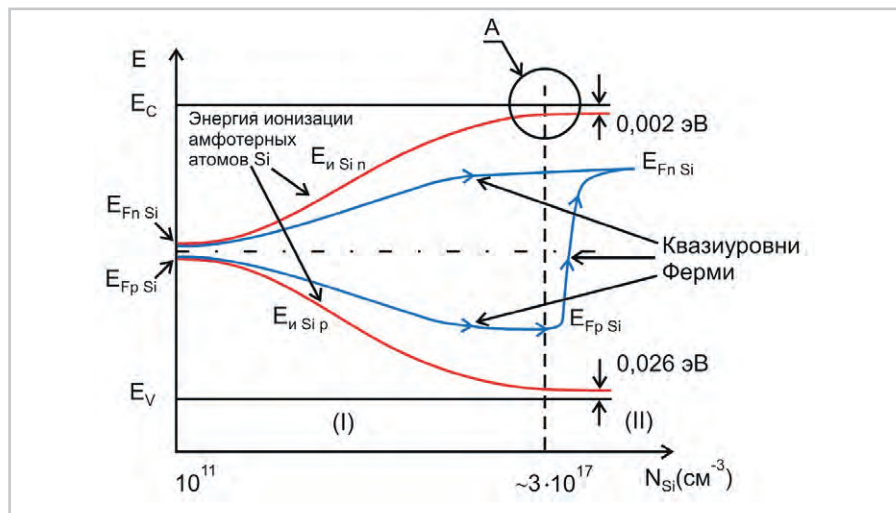


Рис. 4. Энергетическая диаграмма кристалла $\text{LPE i-si-GaAs}_{\text{Si}}$ с эффектом расщепления энергетических состояний в запрещённой зоне и инвертирования типа проводимости в зоне (A), где E_c , E_v – зона проводимости и валентная зона GaAs; $E_{\text{si-}}^{\text{v}}$, $E_{\text{si-}}^{\text{c}}$ – квазиуровни Ферми амфотерных атомов Si; N_{si} (см^{-3}) – концентрация атомов Si

онной катастрофы П. Гроссе [8], доклад Гордеева А. И. на 25-й Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения (НПО «Орион», Москва, 24–26 мая 2018 года), а также с учётом эффектов Поккельса, Франца-Келдыша, Штарка, Клаузиуса-Моссотти, а также квантования точечной атомно-фононной энергии Пойнтинга абсолютно очевидна возможность построения как высокочувствительных неохлаждаемых широкополосных «чёрноволновых» ИК-фотоприёмников, так и генераторов для излучения в этом же диапазоне.

Стоит добавить и определяющие физические эффекты в виде авторской теории мультizonной проводимости Гордеева А.И., Войтовича В.Е., Звонарева А.В. [9]. Это эффект расщепления запрещённой зоны в LPE-кристаллах $i\text{-}_{\text{Si}}\text{GaAs}_{\text{Si}}$ с созданием квантово-точечных водородоподобных энергетических центров с различным уровнем энергии ионизации (основополагающего электродинамического явления в полупроводниках). Нет смысла описывать суть указанных явлений применительно к новому исполнению неохлаждаемых микроболлометров. Стоит остановиться лишь на некоторых фрагментарных примерах конкретного приборостроения для диагностики и клинического лечения заболеваний, вызванных вирусом SARS-CoV-2.

Приборостроение для субсекундной диагностики вируса Covid-19

Направления приборостроения для
мгновенного определения излучения
белковыми РНК-структурами вируса

по принципу ИК-терагерцового приёма в «чёрноволновом» диапазоне излучения человека можно разделить на три группы:

1. приборы на основе LPE $i\text{-}_{\text{Si}}\text{GaAs}_{\text{Si}}$ кристаллов;
2. приборы на поляризованных диэлектриках LPE $i\text{-}_{\text{Si}}\text{GaAs}_{\text{Si}}$ и AlN;
3. приборы на терагерцовых приёмниках/излучателях Si-SiC.

Создание приборов для приёма $h\nu$ энергий в длинном ИК-диапазоне с энергией от 0,2 до 0,08 эВ ($\lambda = 5 \dots 12,5$ мкм) или $f \sim 6 \times 10^{13} \dots 2,2 \times 10^{13}$ Гц) выстраивается на авторской теории мультizonной проводимости. Суть теории или эффекта расщепления запрещённой зоны LPE i- GaAs_{Si} кристаллов, легированных атомами амфотерного Si, отражена в публикации [9]. Основные моменты следующие:

- Зонная диаграмма LPE i-SiGaAsSi диэлектрика представлена на рис. 4.
- Энергетическая диаграмма в зоне А имеет доминирование одной по типу проводимости амфотерной примеси по водородоподобию над другой, с образованием мелких энергетических уровней. Энергия ионизации водородоподобных примесей на амфотерных атомах не подчиняется классической, общепринятой в зонной (полупроводниковой) теории, т.е. она резко отличается от классической формулировки ионизации примеси в полупроводниках, а именно:

$$\text{БЫЛО: } E_{nSi} = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{GaAs}} \right)^2 \left(\frac{m_{\phi\phi.}}{m_0} \right) E_H \quad (1)$$

где E_H – энергия ионизации водорода (13,6 эВ);

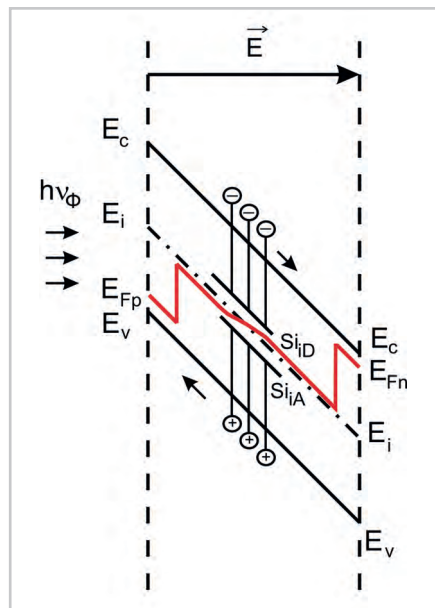


Рис. 5. Схема ионизации амфотерной примеси Si в i-GaAs в условиях комбинированного воздействия: температуры (фононные колебания решётки) и сильного статического поля, где $\vec{E}$ – внешнее поле; E_c , E_v , E_i – зона проводимости, валентная зона и середина запрещённой зоны; E_{Fn} и E_{Fp} – квазиуровни Ферми амфотерных атомов Si; $h\nu_{\phi}$ – ИК-излучение

ϵ_0 и ϵ_{GaAs} – абсолютная и относительная диэлектрические постоянные; $m_{эфф}$ и m_0 – эффективная масса и масса покоя электрона.

$$\text{Стало: } E_{nSi} = AkT \ln \frac{N_c N_V}{N_{Si}^2}, \quad (2)$$

где $N_{Si} \geq \sqrt{2,25 \cdot 10^{11}} \text{ см}^{-3}$; $A \approx 0,35 \pm 0,9$;

A пропорциональна энергии $h\nu = nkT$ – энергии воздействия на кристалл.

В итоге численная разница E_{nSi} по формулам (1) и (2) достигает двух порядков.

С учётом эффектов Франца-Келдыша чувствительность ИК-приёма в зоне A (см. рис. 4) повышается и смещается влево в более коротковолновую зону. Эффект Франца-Келдыша с туннельно-

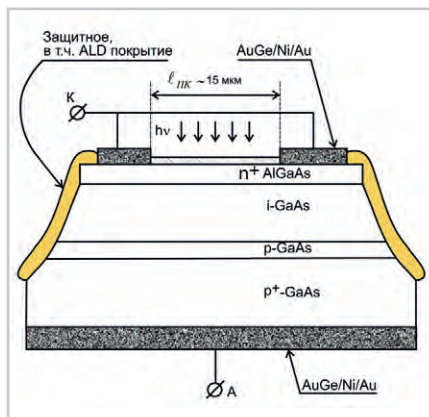


Рис. 6. Структура длинноволнового фотоприёмника на основе гетеросистемы $n^+-AlGaAs/i-GaAs/p^+-GaAs$

полевым переносом электронов из связанного состояния (валентного) показан схематично на рисунке 5.

С учётом эффекта Андерсона (разрыв зон в гетероструктурах $A_{III}B_{V-III}$) конечная структура и зонная диаграмма фотоприёмника выглядят так (см. рис. 6, 7):

- Блок-схема широкополосного длинноволнового ИК-фотоприёмника показана на рис. 8.
- Индикатор считывания падающей квантовой энергии или/или, или одновременно:

- $\Delta I_{обр}$;
- ΔU_{RRM} ;
- ΔC_{ϕ} .

Изменения ΔC_{ϕ} связаны с изменением ϵ_{GaAs} в «темновом» состоянии (состояние равновесия), при котором $\epsilon = 12,8$, до уровня $\epsilon_{\phi} \sim 4,6$ при воздействии одновременно $h\nu \approx 0,12 \text{ эВ}$ ($\lambda \rightarrow 10 \text{ мкм}$) и dU/dt – скоростной «пилы напряжения» с наложением ВЧ-сигнала на варикап.

Электронно-фононные приёмники «чёрного» длинноволнового ИК-диапазона

Специалистам в области радиоматериалов хорошо известна зависи-

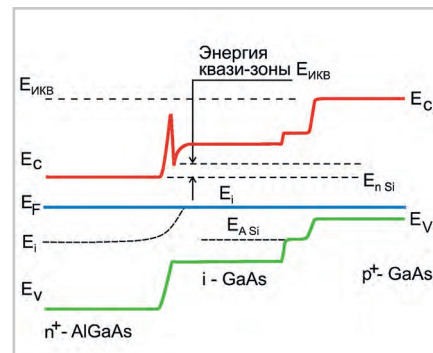


Рис. 7. Зонная диаграмма длинноволнового фотоприёмника (теплого насоса) на основе $n^+-AlGaAs/i-GaAs/p^+-GaAs$, где E_c и E_v – зона проводимости и валентная зона; E_i – середина запрещённой зоны; E_{nSi} и $E_{A Si}$ – энергия квазиуровней Ферми амфотерных атомов Si; $E_{ИКВ}$ – энергия ионизации E_{nSi}

мость диэлектрической проницаемости от частоты, которая представлена на рис. 9.

При использовании новых российских уникальных кристаллов LPE $i-SiGaAs_{Si}$, AlN , обладающих диэлектрическими свойствами, наблюдается эффект модуляции диэлектрической проницаемости частотой внешнего электромагнитного поля, показанный на рис. 9. Этот эффект наиболее ярко выражен в диэлектрических кристаллах $A_{III}B_{V-III}$, $A_{III}B_{V-III}$, содержащих атомы Ga или Al с высокой поляризационной чувствительностью, близких по свойствам к атому Li ($LiNbO_3$).

С позиции физики твёрдого тела (ФТТ) трактовка смысла зависимости $\epsilon = f(\omega)$, показанной на рис. 9, это не что иное, как дисперсия квантовой энергии кристалла, которая в упрощённом виде трактуется так [7]:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d\epsilon}{dt} \epsilon_0 \times \frac{1}{8\pi} \frac{d(E)^2}{dt} \quad (3)$$

или

$$\text{div} E = -E \frac{1}{\epsilon} \text{grad} \epsilon \quad (4)$$

и

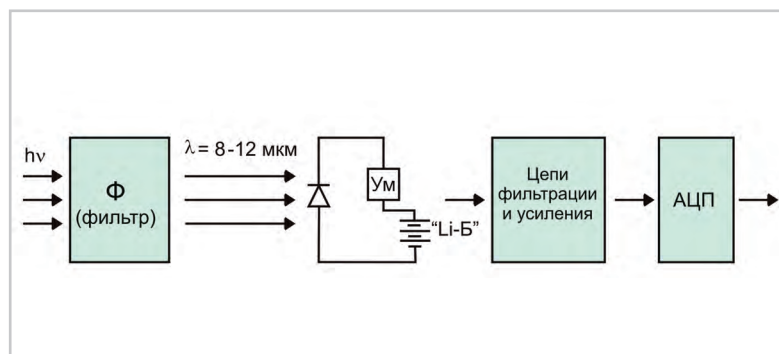


Рис. 8. Блок-схема фотоприёмника на $p-i-n n^+-AlGaAs/i-SiGaAsSi/p^+-GaAs$ на длинах волн 8...12 мкм (она же будет работать и на длинах волн 3...5 мкм), где Ум – умножитель напряжения от литиевой батареи «Li-Б»

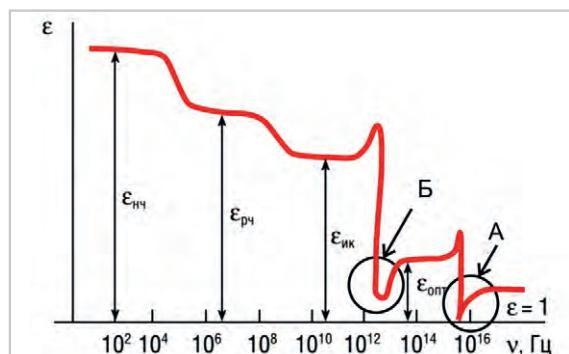


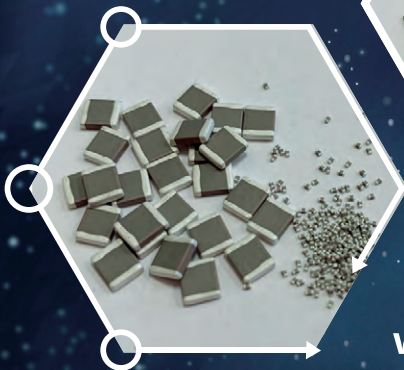
Рис. 9. Классическая зависимость диэлектрической проницаемости от частоты проходящего через тело диэлектрика высокочастотного сигнала [7]



РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ И ПРОХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ

СЕРИЙНАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- *многослойные конденсаторы* – К10-17, К10-42, К10-47, К10-50, К10-54, К10-57, К10-79, КМК;
- *трубчатые конденсаторы* – ТК, К10-51К, КТП, КТ-1Е;
- *фильтры* – Б14, Б23А, Б23Б, Б28, Б29, Б7-2, Б24.



НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ:

- *варисторы* ВР-18, ВР-19;
- *фильтры* Б36;
- *конденсаторы* К10-89, К10-90.

www.kulon.spb.ru

Реклама



192019, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Качалова, д. 3, литер К
Тел.: +7 (812) 317-33-04,
Факс: +7 (812) 412-61-63,
e-mail: office@kulon.spb.ru
sale@kulon.spb.ru

Официальный
поставщик



www.zolshar.ru

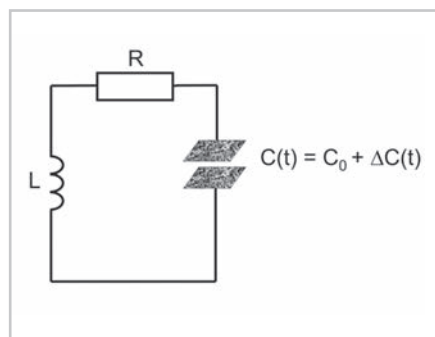


Рис. 10. Колебательный контур:

L – индуктивность;
C – переменная ёмкость;
R – активное сопротивление

$$\frac{1}{\varepsilon}(\text{grad}) = \text{grad}(\ln \varepsilon). \quad (5)$$

Математические определения (4), (5), дивергенция поля **E** и градиента ε показаны в работе [10].

Рассматривая модель кристалла в виде резонансно-параметрического колебательного контура (см. рис. 10) [10], и с учётом графической зависимости $\varepsilon = f(\omega)$ на рис. 9, а также элементарной формулы:

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{L}, \quad (6)$$

можно утверждать, что дисперсия квантово-точечной энергии Пойнтинга в конденсаторе диэлектрического кристалла LPE i-SiGaAs_{Si} или AlN будет выражена формулой:

$$\Delta W = \frac{q^2}{2} \left(\frac{1}{C_n} - \frac{1}{C_0} \right) = m W_{\text{ф}} \quad (7)$$

где авторы в работе [11] назвали

$$m = \frac{C_0 - C_n}{C_n}$$

глубиной модуляции энергии кристалла.

В итоге через добротность контура

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

получается возможность при энергo-воздействии в «чёрноволновом» диапазоне (около 3×10^{13} Гц, см. рис. 9, зона Б) на диэлектрических кристаллах LPE i-SiGaAs_{Si}, AlN, Ga₂O₃ и др. иметь чувствительную модуляцию комплексного реактивного сопротивления (контура) и, таким образом, обеспечивать сканирование приёма «чёрноволновых» тепловых волн в диапазоне по крайней мере от $\lambda = 10$ мкм, а до $\lambda = 10$ мкм отлично подходят LPE-кристаллы i-SiGaAs_{Si} с мелкими энергo-уровнями в зоне А.

С учётом эффектов Франца-Келдыша и Штарка возможности новых микроболметров резко усиливают-

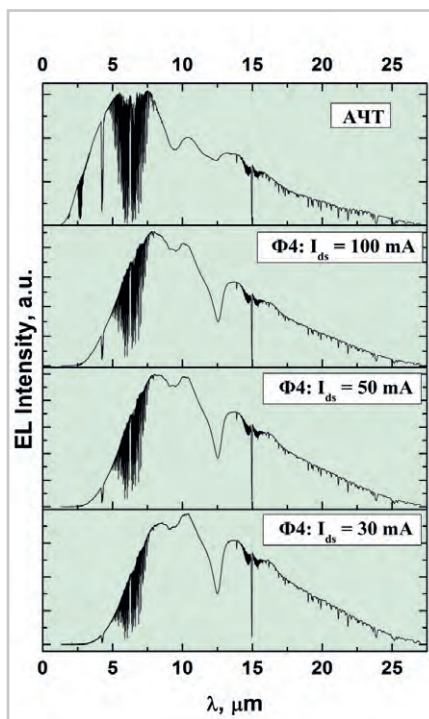


Рис. 11. Спектры излучения Si-SiC дилатационной структуры, созданной д.ф.-м.н. Кукушкиным С. А. (ИПМаш РАН, г. С.-Петербург),

где I_{ds} – плотность тока через Si-SiC структуру

ся во всём диапазоне волн от 5 до 15 мкм.

Электронно-фононные излучатели «чёрноволновой» терагерцовой щели

Несложно понять, что, создав два идентичных контура (см. рис. 10), соединив их последовательно и связав это с дисперсией энергии в кристалле ΔW за 2π периодов частоты ω , мы сможем получить либо резонансно-параметрический генератор излучения, либо резонансно-параметрический усилитель [7].

«Чёрноволновые» излучатели/приёмники на основе $A_{IV}/A_{IV}B_{IV}$ наноструктурных соединений

Уникальные «чёрноволновые» Si-SiC излучатели показаны на рис. 11.

Это уникальнейшие терагерцовые излучатели, созданные в сотрудничестве д.ф.-м.н. Кукушкиным С. А. и д.ф.-м.н. Баграевым Н. Т. и его командой (ООО «Дипольные структуры»), с более высокой (в 2...3 раза) выходной мощностью по сравнению с используемыми ранее в установках «ИК-Диполь», «Инфратератрон». Исследования спектра излучения проводились в ООО «Дипольные структуры». Использование прецизионных ТГц-AlN фильтров и физических принципов создания резонансно-пара-



Рис. 12. «Чёрноволновой» ТГц-излучатель/приёмник

метрических усилителей на основе поляризованных кристаллов LPE i-GaAs и AlN [6, 7] открывает неплохую возможность создания эффективных установок уничтожения Covid-19 в организме человека.

Практические результаты новых излучателей запатентованы в РФ [12].

Общий вид терагерцового излучателя на основе Si-SiC дилатационной наногетеросистемы показан на рис. 12.

С учётом последних исследований и специфики резкого сжатия энергетической запрещённой зоны кремния до уровня нескольких кТ (эВ), стало очевидным, что приборы, показанные на рис. 12, являются также эффективными «тепловольтаидными» приборами, т.е. они могут выступать в качестве неохлаждаемых микроболметров в диапазоне длин волн от 5 мкм вплоть до 1000 мкм, но при этом максимум ИК-фоточувствительности приходится именно на «чёрноволновой» диапазон 5...15 мкм.

Ультрафиолетовые стерилизаторы для борьбы с Covid-19 на основе кристаллов AlN

В блестящей работе Кукушкина С. А. и Шарофидинова Ш. Ш. [5], опубликованной в 2019 году, показана технология получения уникальных диэлектрических кристаллов AlN с объёмными толщинами до 100...200 мкм (!). Таких результатов не добивался никто в мире. С получением таких материалов открывается (и практически показана) возможность получения сверхкомпактных (портативного исполнения) УФ-излучателей на волнах 350...240 нм, которые являются губительными для вируса Covid-19. Это уникальное достижение, открывающее возможность уничтожать за секунды коронавирус на поверхности кистей рук, лица (с защитой глаз) и других участков тела человека. То есть легко можно создать УФ-мини-полотенце в общественных местах (на стадионах, в учебных заведениях).

Заключение

В статье показаны физические основы создания приборов для субсекундной диагностики вируса Covid-19 и ему подобных. Показан уникальный метод сверхоперативного гипертермического подавления вируса во внутренних органах человека безвредным безболезненным способом на основе терагерцовых «чёрноволновых» излучателей. Показана практическая возможность создания «УФ-полотенца» для уничтожения вируса Covid-19 на поверхности кистей рук и других открытых участков тела, включая окружающее пространство. Показанные эффективные способы подавления вируса Covid-19 являются значительно более скоростными по сравнению с вакцинацией и, вероятно, обеспечат более высокую гарантию очистки организма от опасных вирусов и бактерий, в т.ч. в условиях потенциальной угрозы вирусного и бактериального терроризма.

Литература:

1. Баграев Н. Т., Клячкин Л. Е., Маляренко А. М., Новиков Б. А. Применение кремниевых источников терагерцового излучения в медицине. Биотехносфера. 2015. № 5(41).
2. «Механизмы действия инфракрасного излучения дальнего диапазона на биологические объекты. Дипольные структуры. С.-Петербург. 2002 г. URL: <http://ru.dipolestructures.com/specialists/>.
3. Гуляев Ю. В., Годик Э. Э. «Физические поля биологических объектов». Вестник Академии наук СССР. 1983. № 8.
4. Войтович В. Е., Гордеев А. И., Звонарёв А. В. Терагерцовая тепловольтаика на основе монокристаллов LPE i-GaAs (SiO). Современная электроника. 2017. № 3–4.
5. Кукушкин С. А., Шарофидинов Ш. Ш. Новый метод получения объёмных кристаллов AlN, GaN и AlGaIn с использованием гибридных подложек SiC/Si. Физика твёрдого тела. 2019. Т. 61. Вып. 12.
6. Ахманов С. А., Хохлов Р. В. Об одной возможности усиления световых волн. ЖЭТФ. 1962. Т. 43. С. 351–353. № 1.
7. Гордеев А. И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы. Современная электроника. 2016. № 6–7.
8. Гроссе П. Свободные электроны в твёрдых телах. Москва. Мир. 1982 г.
9. Гордеев А. И., Войтович В. Е., Звонарёв А. В. Новая физическая твердотельная электроника на основе терагерцового расщепления и деформации запрещённой зоны LPE SiGaAsSi-кристаллов. «Радиотехника». 2017 г. № 10.
10. Зверев В. А., Кривоносова Е. В., Точилина Т. В. Учебное пособие для конструкторов оптических систем и приборов «Оптические материалы». Часть 1. Санкт-Петербургский университет информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург. 2009.
11. Андронов А. А., Захаров А. А. и др. Новые источники и приёмники ИК- и терагерцового диапазона. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые подходы к проблемам генерации, обработки, передачи, хранения, защиты информации и их применения». Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. Нижний Новгород. 2007.
12. Кукушкин С. А., Осипов А. В., Феоктистов Н. А. Патент № 2363067 С1 от 22.01.2008. Способ изготовления изделия, содержащего кремниевую подложку с плёнкой из карбида кремния на её поверхности. ©

Почему Периферийное Сканирование?

- ✓ Сокращение времени разработки изделий
- ✓ Рекордно быстрая окупаемость метода
- ✓ Многократное использование тестов
- ✓ Высокая скорость тестирования
- ✓ Доступ к скрытым цепям плат
- ✓ Эффективное производство
- ✓ Экономия трудовых ресурсов

Почему именно JTAG Technologies?

- ✓ Тестирование и программирование плат
- ✓ Станции для лаборатории, цеха и отдела сервиса
- ✓ Мы стоим у истоков периферийного сканирования
- ✓ Клиенты более чем в 50 странах
- ✓ Более 15 лет в России, сотни клиентов
- ✓ Офис техподдержки в России
- ✓ Периферийное сканирование – это мы

РАЗРАБОТКА
Получайте полностью работоспособные опытные образцы

ПРОИЗВОДСТВО
Сделайте производственную линию совершенной с технологиями JTAG

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ
Ремонтируйте цифровые платы даже при отсутствии САД-данных на них

www.jtag.com • www.jtaglive.com • +7 812 602 09 15 • russia@jtag.com

Реклама

SuperCell: достижение новых высот для расширения возможностей подключения к Интернету

Алексей Лезинов, руководитель направления ВЧ-СВЧ
АО «ЮЕ-Интернейшл» (yeint.ru)

В статье представлены результаты тестирования и анализа SuperCell от Facebook Connectivity. Исследование поможет и послужит ориентиром для специалистов телекоммуникационной отрасли. Это позволит вывести технологию Facebook на рынок и расширить покрытие мобильной связи в сельских районах с помощью надёжного и экономичного способа.

Вступление

Для расширения возможностей подключения к Сети по всему миру компания Facebook Connectivity разработала SuperCell – решение, с помощью которого предполагается увеличить зону покрытия мобильной связи в сельских районах.

Во многих отдалённых районах по всему миру мобильная связь – единственный вариант подключения к Интернету. При этом значительная часть сельских поселений по-прежнему не имеет доступа к мобильному Интернету, потому что традиционные базовые станции (macrocell), которые обычно используются для обеспечения мобильной связи в городских районах, просто экономически невыгодны для удалённых мест в странах с низким уровнем доходов населения. SuperCell спроектирован как экономичная и надёжная альтернатива традиционным macrocell, а также для лучшего удовлетворения потребности в связи пользователей сельской местности.

Пробел в покрытии

По данным GSMA, 600 млн человек во всём мире живут за пределами территорий, охваченных сетями мобильного широкополосного доступа. Этот пробел в охвате особенно характерен для сельских и отдалённых районов, таких как страны Африки к югу от Сахары, где проживает 67% неохваченного населения мира. Количество подключённых к Интернету людей растёт из года в год. По факту подключены к Сети около 40% живущих в странах с уровнем доходов ниже среднего. При этом в странах с более высоким уровнем доходов цифра колеблется в районе 75%. По оценкам GSMA, если теку-

щие тенденции сохранятся, более 40% населения в странах с доходами ниже среднего к 2025 году всё ещё не будут подключены к Интернету.

Операторы мобильных сетей (MNO) сталкиваются со множеством проблем, когда дело доходит до сокращения разрыва в покрытии. Сельские районы обычно приносят низкий средний доход на пользователя (ARPU). Это даёт меньше поводов для развития сетей и ещё меньше шансов на получение прибыли в этих регионах. Как правило, эти регионы незначительно заселены и имеют пересечённую топографию. При этом отсутствуют рентабельная транспортная сеть и электричество, что затрудняет расширение покрытия мобильной связи.

Что такое SuperCell?

SuperCell – это решение для покрытия сетью большой площади. В SuperCell используются башни высотой до 250 м и узконаправленные антенны с высоким коэффициентом усиления для увеличения дальности и ёмкости покрытия мобильной передачи данных. Полевые измерения показали, что базовая станция SuperCell с 36 секторами, установленная на 250-метровой башне, может обслуживать географическую зону покрытия, в 65 раз большую, чем стандартная трёхсекторная сельская базовая станция на 30-метровой башне при той же топографии. В Нигерии был проведён анализ открытых регионов с использованием общедоступных данных о плотности населения. В сочетании с данными инструментов расширенного планирования сети Facebook Connectivity было определено, что одна SuperCell может заменить от 15 до 25 традиционных

башенных macrocell или сотни базовых станций формата small cell.

Учитывая это, стоимость развёртывания сети SuperCell окажется на 33% ниже по сравнению с сетью традиционных базовых станций формата macrocell. В Африке имеются проблемы с зоной покрытия, топографией и инфраструктурой. Считается, что в регионе к югу от Сахары SuperCell может оказать значительное влияние.

Чем SuperCell отличается от других решений?

Представители телекоммуникационной отрасли разработали несколько инновационных технологий и бизнес-моделей для устранения проблем в покрытии сетью сельских районов. Существуют недорогие решения для небольших базовых станций, которые через спутниковый канал могут обеспечить покрытие населённых пунктов в радиусе от 500 м до 1 км. Появились решения для обеспечения покрытия сотовой связью большой площади с использованием привязных и стратосферных аэростатов. Созданы модульные решения для транзитных радиорелейных сетей в нелицензированных диапазонах, группировки спутников для обеспечения повсеместного покрытия на низкой и средней околоземных орбитах (LEO и MEO соответственно). В таблице приводится краткое изложение некоторых плюсов и минусов различных решений, включая SuperCell.

Разработка и тестирование SuperCell

Тестирование распространения сигнала

Внутренняя зона покрытия SuperCell обусловлена большой высотой башни и использованием антенн с высоким коэффициентом усиления. Удвоение высоты базовой станции приводит к улучшению сигнала на 6 дБ. Таким образом, использование 240-метровой башни даёт улучшение уровня сигнала примерно на 18 дБ.



ПАТРОНАЖ ТПП РФ

21-24

СЕНТЯБРЯ 2021

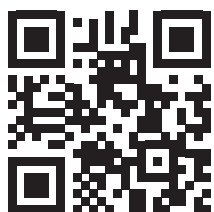
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

Radel

XXI МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА
- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



Реклама

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



FarEXPO
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER



radelexpo.ru (812) 718-35-37

Плюсы и минусы различных решений для связи

Решение	Транспортная сеть: спутниковая или широкополосная	Плюсы	Минусы
Недорогие небольшие базовые станции с транспортом через спутниковый канал и электропитанием от солнечной энергии	Спутниковая или широкополосная	- Затраты на одну станцию очень маленькие; - станция может быть легко перемещена на новое место	Высокие затраты на обслуживание спутниковых каналов, из-за чего высокая стоимость услуги для населения
Покрытие больших территорий с использованием привязанного аэростата	Широкополосная	- Замена нескольких базовых станций на одну большую имеет преимущество в стоимости; - станция может быть легко перемещена в новую локацию; - один спутниковый канал вместо многих	- Аэростаты необходимо спускать при ветреной погоде; - требуется периодическое восполнение гелием; - вес базовой станции увеличивает стоимость аэростата; - проблема надёжности – большой регион обслуживается всего из одной нестационарной точки
Покрытие больших территорий с использованием стратосферного аэростата	Широкополосная	- Не требуется инфраструктура на земле – покупка земли, землеотвод и т.п. для каждой станции; - расположение под углом, более близким к прямому, позволяет сигналу эффективнее преодолевать растительность	- Вес базовой станции зависит от размера баллона; - перемещение станции может привести к большим проблемам с хэндовером; - перемещение из-за ветров на больших высотах; - бизнес-модель недостаточно изучена
Система спутниковой связи LEO	Спутниковая	- Меньшая задержка связи в сравнении с привычными системами связи с использованием геостационарных спутников; - сеть из таких спутников может обеспечить повсеместное покрытие по всему земному шару	- Вопрос окупаемости данного решения для сельских регионов остаётся открытым; - следающая антенна должна располагаться на земле; - окупаемость полного набора средств для обслуживания сельских регионов может занять годы
SuperCell	Широкополосная	- Замена одной станцией SuperCell многих традиционных БС более выгодна с совокупной стоимости владения (ТСО); - высокие башни и мачты – апробированное решение. Такие конструкции давно используются телевидением и связи; - есть возможность разместить много тяжёлого оборудования на АМС; - традиционная апробированная бизнес-модель	- Требуется квалифицированное планирование сайта. Перемещение конструкции после развёртывания невозможно; - потенциально при сбое в единственной точке большой регион остаётся без связи; - высокое потребление электроэнергии, но планирование операционных затрат (OpEx) проще из-за одного сайта вместо нескольких

Во всём мире диапазоны частот сотовой связи для стандартов 2G, 3G и LTE, как правило, находятся в диапазоне от 600 МГц до 2,7 ГГц. Типичные антенны базовой станции, используемые в стандартных базовых станциях macrocell, имеют усиление 18 дБи в полосе 2500 МГц.

SuperCell использует антенны, которые обеспечивают усиление до 29 дБи в том же диапазоне благодаря узкой диаграмме направленности. Такие характеристики могут обеспечить, например, антенны на линзе Лüneберга [1]. Вместе увеличение высоты расположения антенны и высокий коэффициент усиления дают преимущество распространения в 29 дБ (18 дБ – от преимущества по высоте и 11 дБ – от КУ антенны). Высота антенно-мачтовой конструкции и усиление антенны сохраняются симметрично как для uplink, так и для downlink. Предполагая, что показатель потерь на трассе равен 4, SuperCell даёт преимущество по дальности примерно в 5,3 раза.

Большая часть экономического обоснования SuperCell заключается в измерении и реальной оценке преимущества по дальности. Команда Facebook Connectivity и партнёры провели измерения распространения сигнала, исполь-



Рис. 1. Ровная сельская местность вокруг участка в Квад-Сити, штат Иллинойс (слева) и 300-метровая телебашня с оттяжками, которая использовалась для экспериментов с покрытием (справа)

зуя телерадиовещательные башни, расположенные в сельских районах США [2]. Территория вокруг Квад-Сити имеет относительно ровную местность с пахотными землями (см. рис. 1). В Меткалфе преобладает равнинная местность с густыми лиственными деревьями. Френчбург расположен на пересечённой гористой местности с пахотными землями. Были проведены измерения с передатчиками, использу-

емыми узконаправленные антенны на линзах Лüneберга, размещёнными на разных высотах на радиовещательных башнях. С помощью полученных измерений были построены модели потерь на трассе распространения для различных высот передатчиков. Эти экспериментально настроенные модели потерь на трассе распространения затем были объединены с эмпирически собранными диаграммами направленности мно-

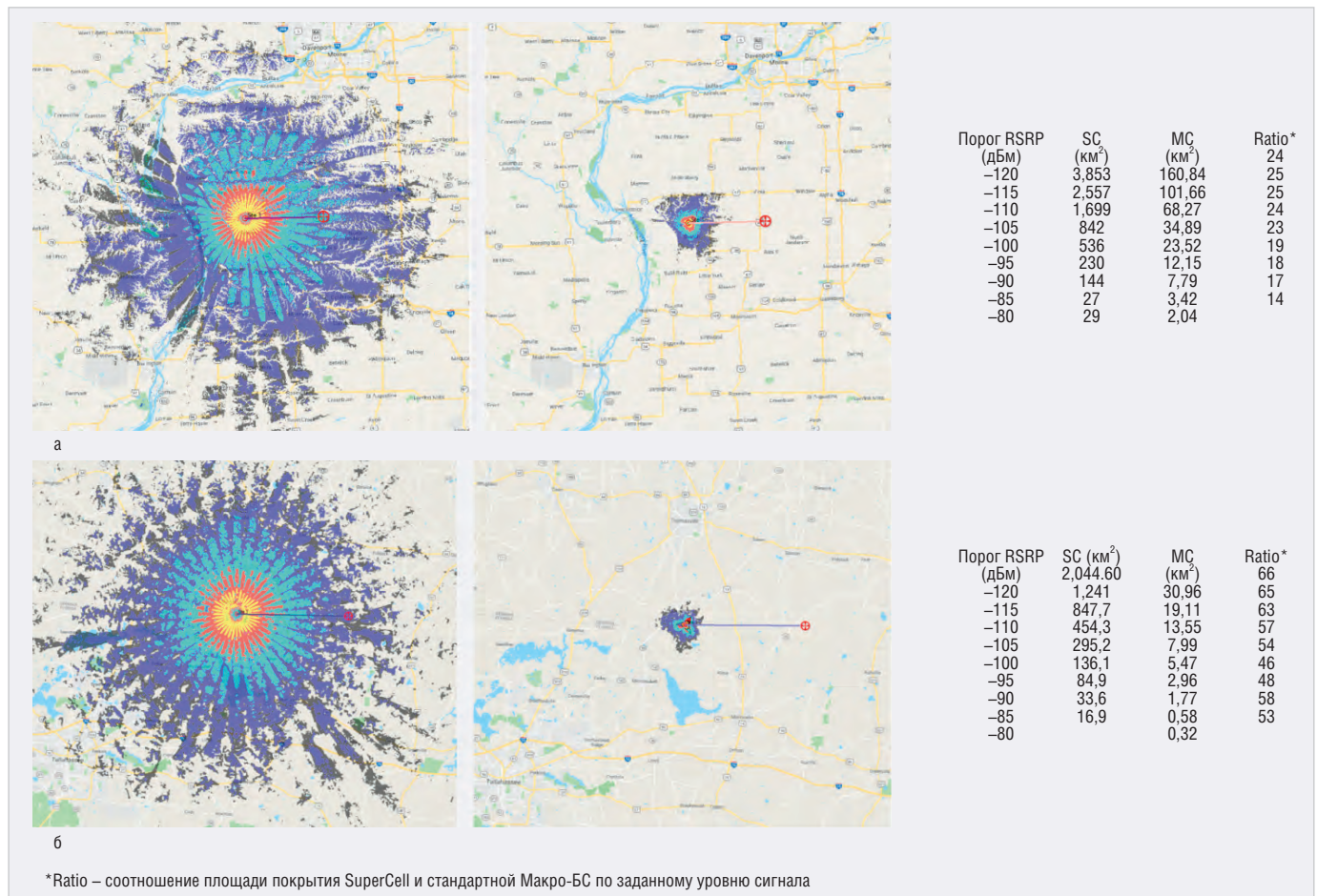


Рис. 2. Тест-драйв охвата 36-секторной SuperCell на 250-метровой башне по сравнению со стандартной трехсекторной macrocell: а) в Квад-Сити, Иллинойс; б) в Меткалфе, Джорджия

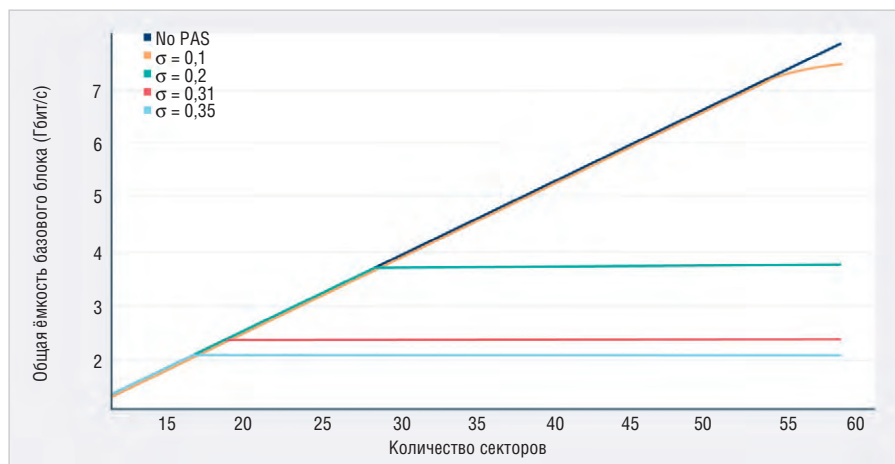


Рис. 3. Масштабирование ёмкости по отношению к числу секторов

госекторных антенн. Приведённые далее результаты демонстрируют преимущество покрытия SuperCell над стандартными macrocell базовыми станциями в областях с ровной местностью (см. рис. 2). Красный маркер на рисунках указывает точку, которая находится в 20 км от основания башен (данные карты Google).

Угловой разброс

SuperCell позволит охватывать большее количество людей, что, в свою оче-

редь, означает, что ёмкость, обслуживаемая базовой станцией, должна соответственно увеличиться. Доступный спектр часто ограничен, поэтому высокая пропускная способность зависит от спектральной эффективности области.

SuperCell использует секторизацию высокого порядка (HOS) с повторным использованием частот по секторам. Однако одна из ключевых проблем масштабирования пропускной способно-

сти с помощью HOS – это межсекторные помехи, которые могут привести к менее линейному масштабированию пропускной способности в зависимости от количества секторов. Это может быть вызвано:

1. частичным перекрытием диаграмм направленности антенны: любая физическая конструкция антенны будет иметь боковые лепестки, которые мешают соседним секторам (этот эффект помех можно учесть при планировании развёртывания);
2. многолучевое рассеяние: отражения вокруг объекта вызывают многолучевое рассеяние сигналов нисходящей и восходящей линий связи. Из-за рассеяния происходит расширение сигналов, принимаемых на антеннах базовой станции, в угловой области. Это называется угловым разбросом (angular spread).

В типичных непокрытых сельских районах застройка одноэтажная, средняя высота зданий менее 10 м. В рамках испытаний в Амарилло, штат Техас, был установлен приёмник с направленной параболической антенной на 300-метровой радиовещательной

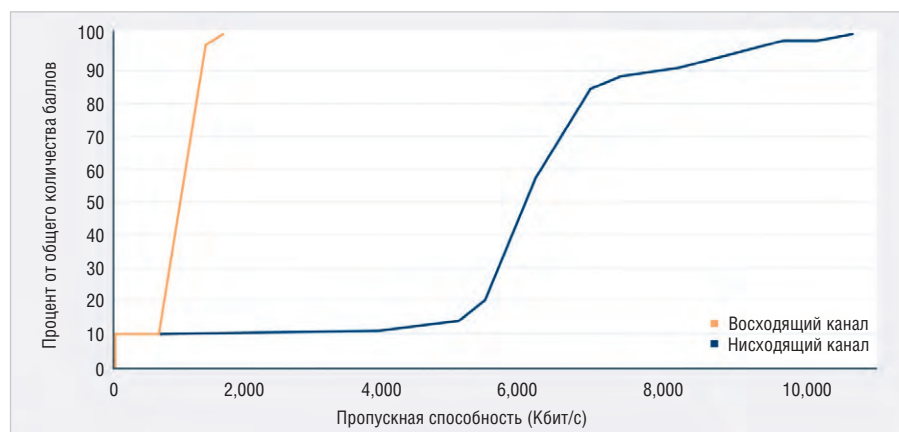


Рис. 4. Функция распределения пропускной способности восходящего и нисходящего каналов от пользовательского оборудования Samsung S7, расположенного в 40 км от базовой станции

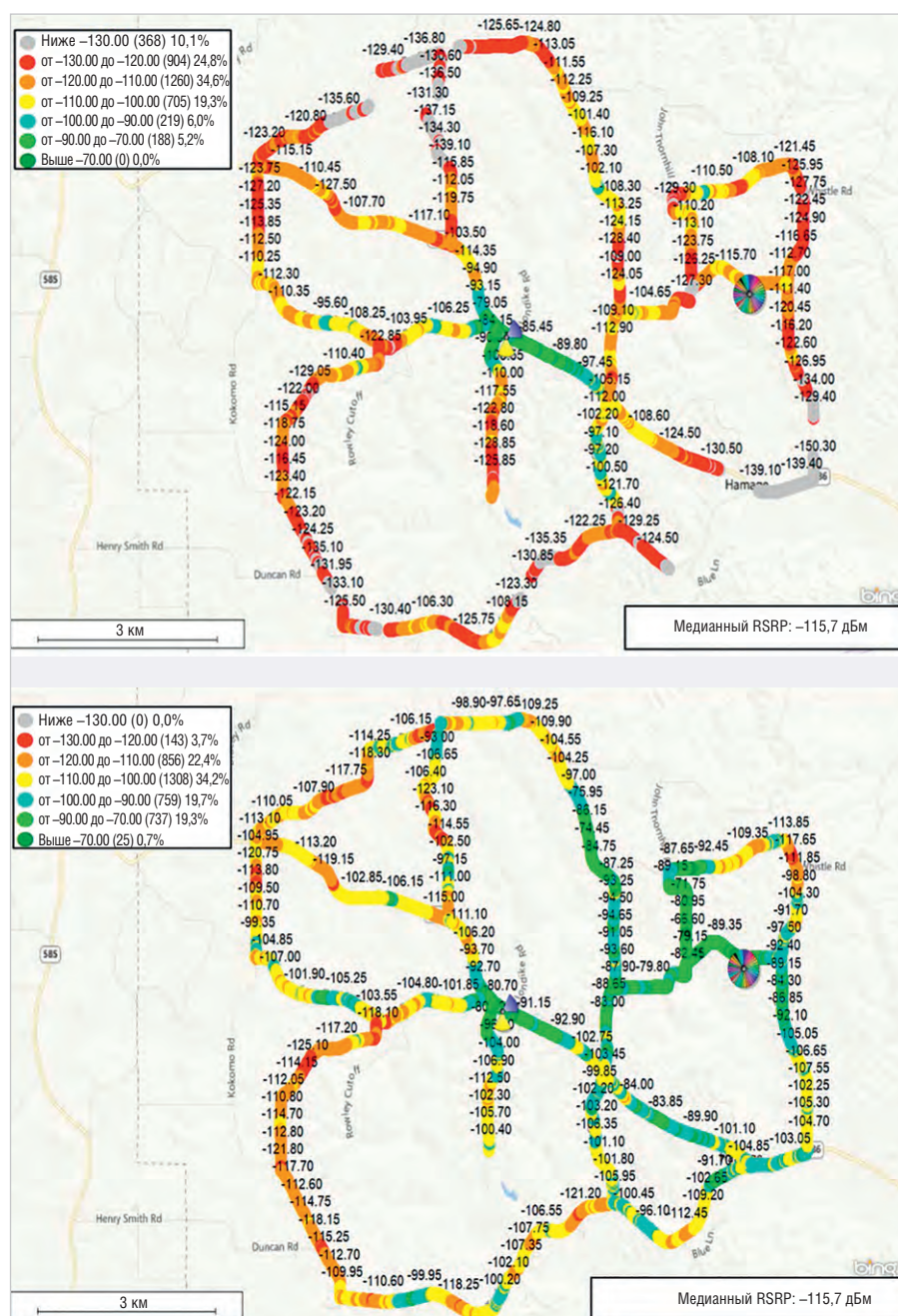


Рис. 5. Результаты драйв-теста с macrocell COLT, размещённой в ближней зоне: а) распределение RSRP вокруг macrocell ближней зоны, когда SuperCell был выключен; б) распределение RSRP с SuperCell и macrocell, работающими в одном диапазоне (данные карты Bing)

башне. Используя запатентованный метод, был исследован угловой разброс в зависимости от высоты антенны базовой станции до 250 м и дальности до 20 км. В рамках этого теста специалисты смоделировали трассировку лучей для сельской местности вокруг испытательного полигона. Тест показал, что большая разница между средней высотой застройки и высотой базовой станции SuperCell приводит к небольшому угловому разбросу. Это, в свою очередь, позволило снизить межсекторные помехи и улучшить масштабирование пропускной способности по отношению к количеству секторов (см. рис. 3). Эксперименты, проведённые в Квад-Сити, Меткалфе и Амарилло, доказывают преимущество SuperCell перед традиционными базовыми станциями microcell по размеру покрытия и ёмкости сети.

Полевые испытания LTE

Также были проверены пропускная способность SuperCell с использованием сигналов LTE на больших расстояниях, производительность межсекторного хэндовера, качество звонков и трансляции потокового видео.

Специалисты протестировали SuperCell LTE с использованием 12-секторной антенны (имеющей 12 секторов в 120° по азимуту) фирмы Matsing в сельской местности штата Нью-Мексико. Базовая станция SuperCell была установлена на 11-метровой башне на вершине холма с видом на долину. Вертикальное разнесение между антенной базовой станции и пользовательским оборудованием составляло от 150 до 335 м в зависимости от расположения пользовательского оборудования на маршруте дорожных испытаний. Место проведения испытаний имело топологию скалистой пустыни с минимальным количеством растительности. Испытания проводились с использованием диапазона 41 LTE (2500 МГц).

Тестирование показало, что SuperCell может поддерживать двухстороннюю передачу голоса и видео на расстоянии 38 км. SuperCell продемонстрировал пропускную способность нисходящего канала 6 Мбит/с (50% перцентиль) и 7,8 Мбит/с (90% перцентиль), а также пропускную способность восходящего канала 1 Мбит/с (50% перцентиль) и 1,2 Мбит/с (90% перцентиль) для пользовательского оборудования (UE) Samsung S7 на дальности 40 км (см. рис. 4). Межсекторный хэндовер

ChipEXPO-2021

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ

14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА

СКОЛКОВО



ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
 - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции (Постановление Правительства РФ №878)
 - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (Постановление Правительства РФ №109)
 - экспозицию разработок, обеспечивающих выполнение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Стартапы в электронике
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



РОСЭЛ



ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО» Москва, 121351, ул. Ярцевская, д.4. Тел.: +7 (495) 221-50-15
E-mail: info@chipexpo.ru <http://www.chipexpo.ru>

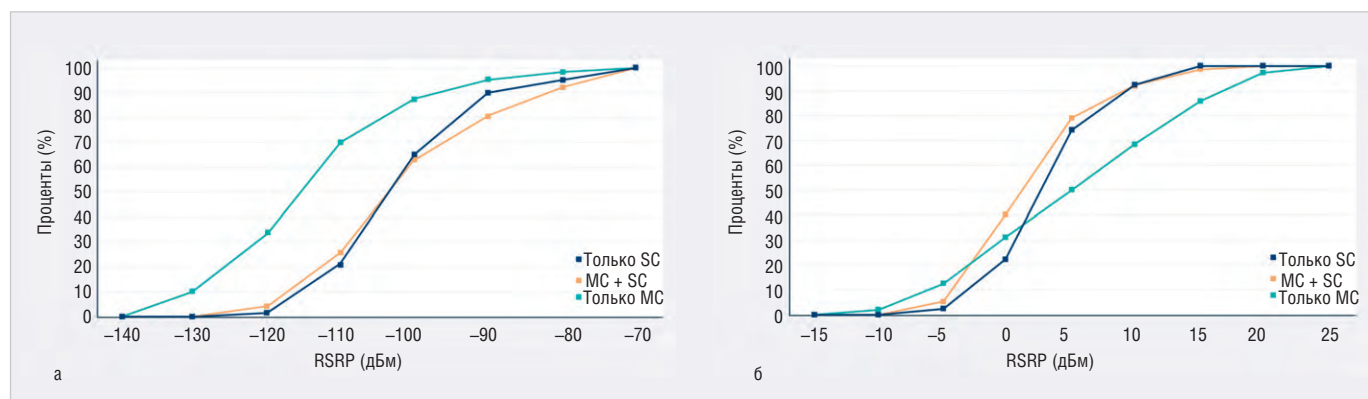


Рис. 6. Разделение доступного спектра между мешающим сектором SuperCell и дальней зоной macrocell: а) RSRP ближнего поля; б) SINR ближнего поля

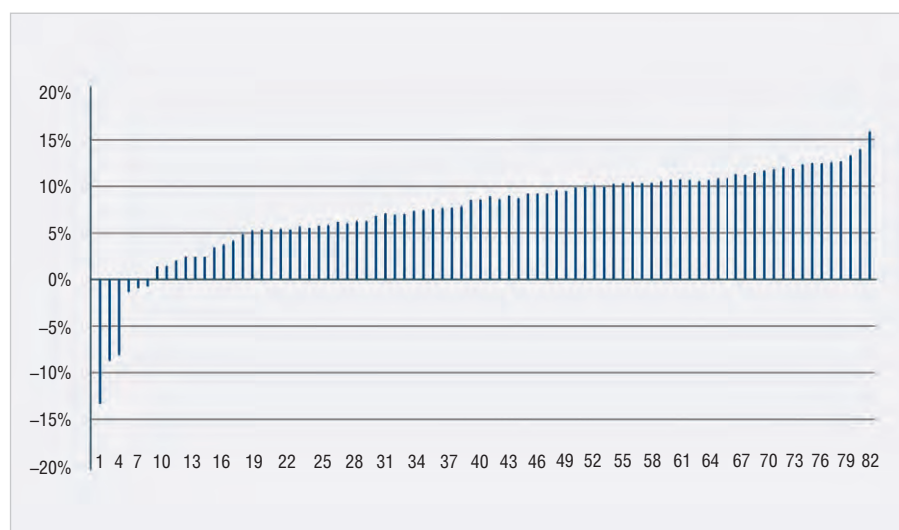


Рис. 7. Разница между IRR для 82 SuperCell и IRR для альтернативной сети macrocell

UE также работал без сбоев во время тестирования.

Тестирование помех между сотами

В сотрудничестве с American Tower Corporation (ATC) и C Spire в Нью-Мексико проводились испытания в диапазоне TD-LTE. Многие MNO в Африке используют LTE в диапазонах FDD. Для испытания в Нью-Мексико базовая станция SuperCell была установлена на небольшой башне на вершине холма с видом на долину. Идея заключалась в том, чтобы имитировать высокую башню, т.к. логистика установки массивной базовой станции SuperCell на вершине высокой башни оказалась понятна не полностью. Далее специалисты провели испытания в сообществе Фоксворт в округе Мэрион, штат Миссисипи, примерно в трёх милях к юго-западу от Колумбии, вдоль западного берега реки Пёрл.

Важной целью исследования в Фоксворте стала экспериментальная оценка помех между сотами, т.е. оценка влияния SuperCell и находящихся рядом

базовых станций macrocell. В отдалении от базовой станции SuperCell были установлены станции macrocell на шасси грузовика (COLT) в ближней (4 км), средней (10 км) и дальней (16 км) зонах.

На рисунке 5 показаны подробные результаты драйв-теста с macrocell COLT, размещённой в ближней зоне. В ближней зоне SuperCell очень хорошо обслуживает область, окружающую macrocell. Можно вывести macrocell из эксплуатации, когда SuperCell развернут. В центре зоны SuperCell может сосуществовать с macrocell и работать в том же частотном спектре. SuperCell эффективно обеспечивает дополнительную пропускную способность в области, окружающей macrocell в средней зоне, за счёт повторного использования спектра.

В дальней зоне SuperCell создаёт помехи в области, окружающей дальнюю зону macrocell, но сигнал SuperCell не является доминирующим. Пользовательское оборудование, подключённое к macrocell, может

успешно переключаться на SuperCell. Это вызывает снижение производительности для области, окружающей дальнюю зону macrocell. В этом сценарии наилучшим подходом может стать разделение доступного спектра между мешающим сектором SuperCell и дальней зоной macrocell (см. рис. 6). Аналогичные тесты были проведены для средней и дальней зон. Они доступны в подробной технической статье [3].

Какова экономическая целесообразность SuperCell?

Помимо технических испытаний концепции SuperCell, команда Facebook Connectivity провела несколько подробных экономических анализов.

Анализ в Нигерии

Как упоминалось ранее, был проанализирован потенциал SuperCell в открытых регионах Нигерии. Для этого использовались общедоступные данные о плотности населения в сочетании с информацией из инструментов расширенного сетевого планирования Facebook Connectivity.

Специалисты Facebook определили, сколько потребуется станций SuperCells и macrocell (обычных трёхсекторных на 30-метровых башнях), чтобы охватить регион. Также специалисты исследовали, как будет выглядеть покрытие, если бы 82 установки SuperCell были размещены в Нигерии.

Финансовое сравнение с использованием внутренней нормы прибыли (IRR) для оценки прибыльности потенциальных инвестиций показало, что 76 из 82 SuperCell в этом моделировании будут иметь более высокий IRR, чем эквивалентная сеть macrocell. Анализ показал, что установка SuperCell на существующих высотных башнях в Ниге-

рии может обеспечить доступ к Интернету для 16,8 млн людей. Это делает выбранную бизнес-модель прибыльной как для операторов мобильной связи, так и для компаний, владеющих антенно-мачтовыми конструкциями (см. рис. 7).

Технико-экономическая оценка в Камеруне

В рамках дальнейшего экономического анализа Facebook в партнёрстве с оператором мобильной связи (MNO) сравнил решения RAN для не покрытых сотовой связью четырёх штатов Камеруна: северного и восточного Камеруна, Адамавы и крайнего севера.

В этом технико-экономическом анализе сравнивались четыре решения сотовой связи:

- малые БС (small cell): односекторная сота со всенаправленной антенной на 10-метровой мачте;
- стандартные БС (macrocell): обычная трёхсекторная ячейка на 75-метровой башне;
- SuperCell140: шестисекторная антенна с высоким коэффициентом усиления от Radio Innovations AG на 140-метровой башне;
- SuperCell180: шестисекторная антенна с высоким коэффициентом усиления от Radio Innovations AG на 180-метровой башне.

Специалисты Facebook провели анализ потерь на пути для SuperCell с использованием данных, собранных с работающих базовых станций в Камеруне. Партнёр MNO предоставил технико-экономические данные: CapEx, OpEx, ARPU, скорость принятия и среднее потребление трафика на пользователя. Анализ был проведён независимо, с использованием инструмента Advanced Network Planning от Facebook Connectivity и программы планирования партнёра MNO.

В технико-экономическом анализе сравнивались четыре различных плана однородной сети, составленных исключительно с использованием четырёх конфигураций сотовых станций, описанных ранее. Результат анализа с точки зрения чистой приведённой стоимости (NPV) каждого плана, количества новых базовых станций и увеличивающегося охватываемого населения показан на рисунке 8.

SuperCell140 и SuperCell180 показали лучшую NPV, чем другие альтернативы

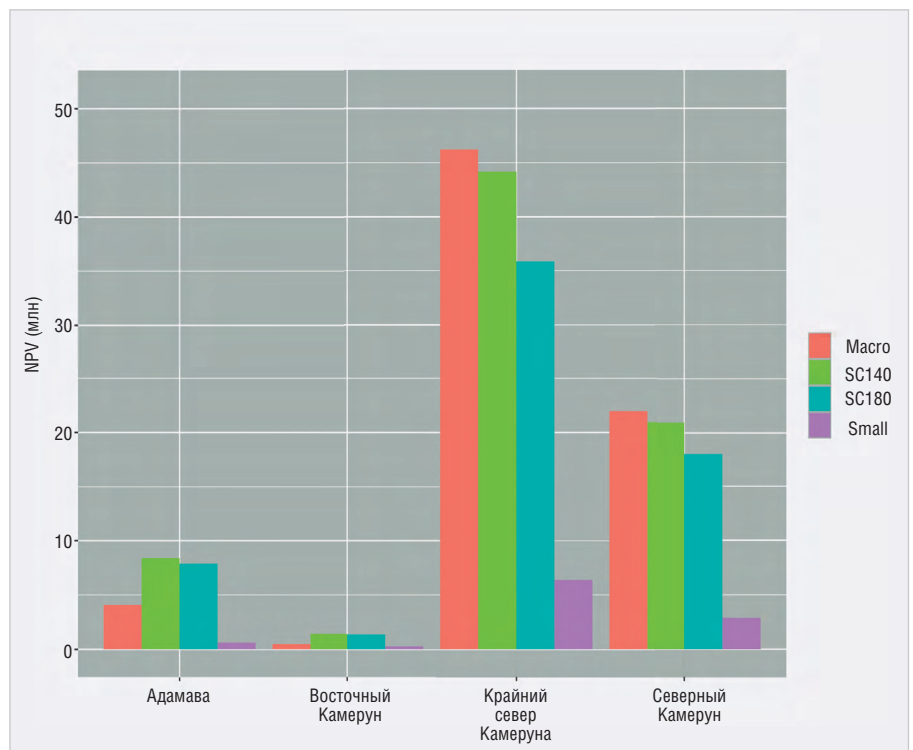


Рис. 8. Анализ чистой приведённой стоимости (NPV) каждого плана, количества новых базовых станций и увеличивающегося охватываемого населения

в штатах Адамава и Восточный Камерун. Для северного и крайнесеверного Камеруна macrocell показали более высокую чистую приведённую стоимость, SuperCell140 оказался на втором месте. С практической точки зрения, оптимальный сетевой план представляет собой гетерогенную комбинацию четырёх конфигураций сотовой связи. В будущих исследованиях это будет изучено дополнительно.

Покоряя новые высоты

После завершения партнёрских испытаний и подтверждения эффективности SuperCell разработчики готовы передать технологию более широкой аудитории специалистов телекоммуникационной отрасли.

Кроме того, в рамках проекта Telecom Infra Project (TIP) недавно были созданы группы решений для проверки сквозных открытых сетевых решений, в том числе подгруппа, специализирующаяся на решениях «Сеть как услуга» (NaaS). Facebook Connectivity предоставит этой группе данные о технических испытаниях SuperCell и информацию о бизнес-моделях, которые можно использовать для решения проблемы отсутствия высокоскоростного доступа в Интернет в сельских и пригородных районах.

В то время как разрыв в доступности сетей связи увеличивается, потреб-

ность в подключении к Сети по всему миру возрастает. Целые сообщества подвергаются риску остаться позади, поскольку доступ к рабочим местам, образованию и таким услугам, как здравоохранение, будет всё больше зависеть от подключения к Интернету.

SuperCell может предоставить рентабельное решение для операторов мобильной связи и владельцев антенно-мачтовых сооружений, при этом обеспечив высокоскоростное и надёжное соединение для сельских сообществ.

Литература

1. Веб-сайт производителя антенн на базе линз Люнеберга. URL: <http://www.matsing.com/>.
2. Документация на антенну, использованную для тестов в сельских районах США: Квад-Сити, Иллинойс; Меткалф, Джорджия и Френчбург, Кентукки. URL: <https://matsing.com/ms-12-6db180>.
3. SuperCell: A Wide-Area Coverage Solution Using High-Gain, High-Order Sectorized Antennas on Tall Towers. URL: <https://arxiv.org/abs/2012.00161>.
4. Оригинальная статья Facebook Engineering. URL: <https://engineering.fb.com/2020/12/03/connectivity/supercell-reaching-new-heights-for-wider-connectivity/>.

Электронные компоненты компании Bourns. Современные датчики давления и влажности

Юрий Петропавловский (г. Таганрог)

В статье представлен модельный ряд современных прецизионных датчиков давления серии BPS от компании Bourns. Рассмотрены их особенности и основные технические параметры.

Компания Bourns Inc. является одним из крупнейших производителей пассивных электронных компонентов, датчиков, установочных изделий и элементов индикации для различных отраслей промышленности, медицинской и измерительной техники, автомобилестроения и транспорта.

Bourns Inc. (г. Риверсайд, Калифорния, США) основана в 1947 году выпускниками Мичиганского университета Марланом и Розмари Борнс (Marlan and Rosemary Bourns) как лаборатория Bourns Laboratories Inc. Тогда «компания» располагалась в гараже площадью 35 кв. м в г. Альтадене. В 1950 году штаб-квартира компании переместилась в г. Риверсайд, а в 1959 году компания была переименована в Bourns Inc. Первым коммерчески успешным продуктом Bourns стал линейный потенциометр Trimpot® с высокоточной винтовой регулировкой положения ползунка (см. рис. 1). В 1962 году компания открыла европейское подразделение Bourns AG в Швейцарии.

Продукты компании успешно применялись в высокотехнологичных отраслях промышленности, в частности в 1969 году изделия Bourns Inc. нашли применение в оборудовании космического аппарата Apollo 11, участвующего в лунной программе США. В 1976 году компания начала производство резистивных матриц, в 1985-м – подстроечных резисторов для поверхностного монтажа, в 1989-м – датчиков угла поворота руля (Steering Sensor), а в 1996-м – самовосстанавливающихся предохранителей Multifuse® на основе

полимеров с положительным температурным коэффициентом (PPTC – polymeric positive temperature coefficient device).

Расширение ассортимента выпускаемой продукции Bourns Inc. в немалой степени осуществляла за счёт приобретения других профильных компаний или их подразделений, например Precision Monolithic, Inc. (1974), производителя тиристорных защитных устройств Power Innovations, Ltd (2000), подразделение датчиков и приборов управления компании Texas Instruments (2003). Bourns в разные годы также приобрела ряд профильных активов известных производителей электронных компонентов, например Tyco (2005), Bell Industries (2006), Jensen Devices AB (2012), Murata Manufacturing Co. Ltd (2015) и ряд других активов и бизнесов различных производителей. Производственные мощности компании расположены как на территории США, так и в других странах (Мексика, Тайвань, КНР).

Продукцию компании представляют многие глобальные и локальные дистрибьюторы электронных компонентов по всему миру. В регионе EMEA (Европа, Средний Восток, Африка) компоненты и приборы Bourns имеют в своём ассортименте такие дистрибьюторы, как Mouser Electronics, Digi-Key Electronics, Arrow Central Europeenne, Avnet Abacus Vienna, Farnell, RS Components и целый ряд других. В России продукты Bourns представляет компания «Симметрон», Argussoft Electronics, Arrow Electronics, Avnet Abacus Russia, Compel LLC, Digi-Key Electronics, Farnell, Mouser Electronics, Platan Components и другие. Компания «Симметрон» представляет продукты Bourns также на Украине, в Беларуси и других странах СНГ.

В каталоге Bourns 2021 года представлена широкая номенклатура электронных компонентов, приборов и инструментов в следующих основных категориях:

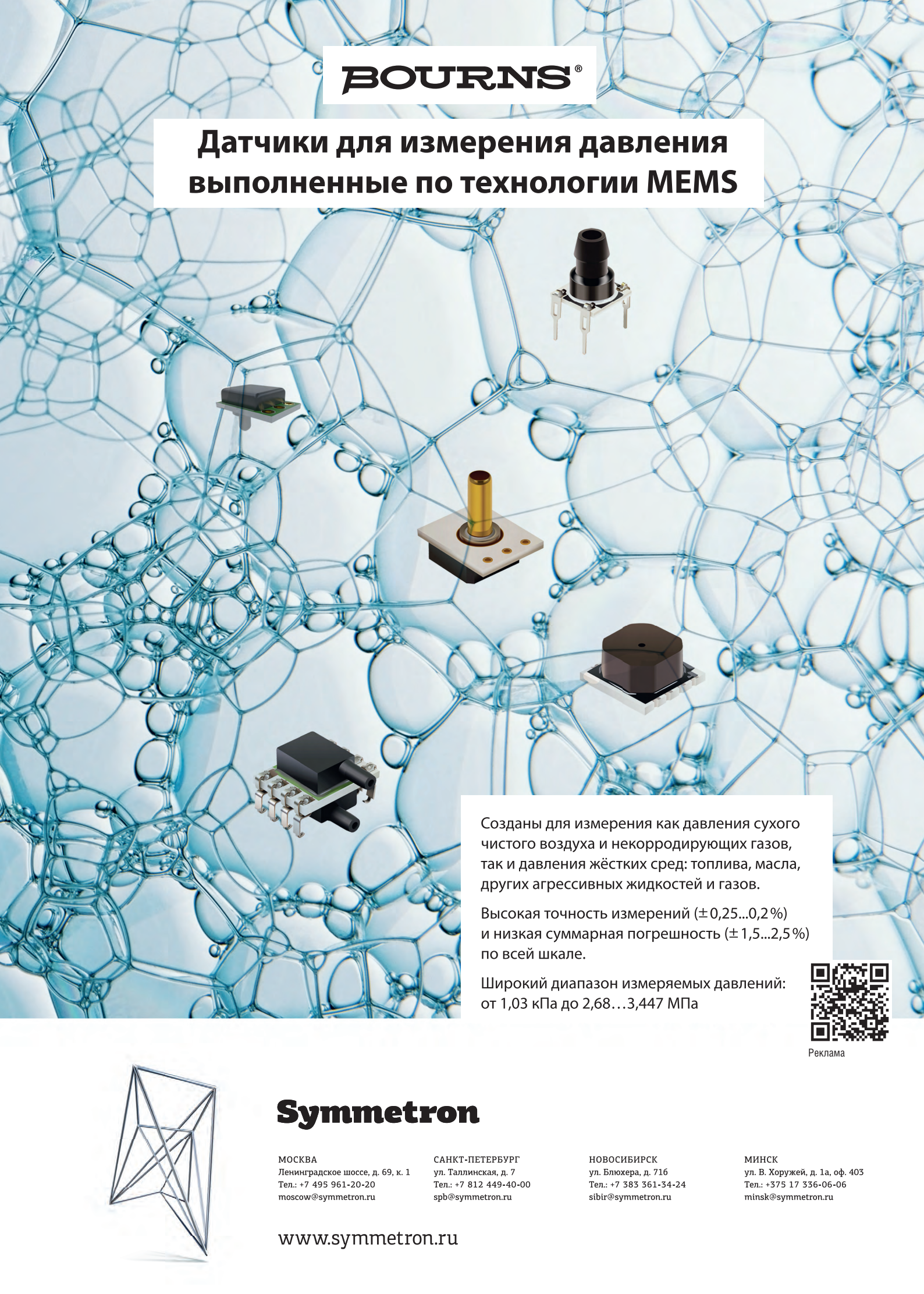
- компоненты для автомобильных приложений (Automotive) – датчики уров-

ня шасси (Chassis Level Sensor), датчики положения двигателей (Motor Position Sensor), бесконтактные дифференциальные датчики углового положения (Differential Non-Contacting Angle Sensor), комбинированные датчики углового положения и крутящего момента (Combo Sensor Steering-torque), датчики положения дросселя (Throttle Position Sensor), датчики для систем обогрева, вентиляции и кондиционирования (HVAC Sensor), датчики углового положения руля (Steering Sensor), датчики уровня жидкости (Fuel Level Sensor);

- защитные устройства (Circuit Protection) – компоненты защиты от статического электричества (ESD-супрессоры), диодные матрицы, газоразрядные трубки (GDT), устройства защиты светодиодов (LED Shunt Protection) и ряд других видов защитных устройств;
- диоды – силовые TVS-диоды, выпрямительные диоды, диодные матрицы;
- кодеры (Encoders) – контактные кодеры (программные переключатели), магнитные и оптические энкодеры, продукты для профессиональной звуковой аппаратуры (Pro-Audio Products);
- предохранители (Fuses) – плавкие предохранители для поверхностного монтажа, разрывные предохранительные резисторы;
- нагреватели (Heaters) – керамические термисторные нагреватели;
- магнитная продукция – широкая номенклатура ферритовых чип-сердечников и индуктивностей с магнитными сердечниками;
- пассивные датчики (Passive Sensors) – контактные многооборотные и ползунковые датчики, бесконтактные одно- и многооборотные датчики;
- потенциометры – панельные ползунковые потенциометры промышленного и бытового назначения, поворотные прецизионные потенциометры;
- резисторы – широкая номенклатура резисторов различных видов;
- датчики – датчики для мониторинга окружающей среды, датчики положения;



Рис. 1. Потенциометр Trimpot®



BOURNS®

Датчики для измерения давления выполненные по технологии MEMS



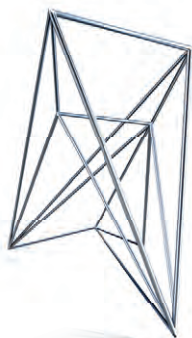
Созданы для измерения как давления сухого чистого воздуха и некорродирующих газов, так и давления жёстких сред: топлива, масла, других агрессивных жидкостей и газов.

Высокая точность измерений ($\pm 0,25...0,2\%$) и низкая суммарная погрешность ($\pm 1,5...2,5\%$) по всей шкале.

Широкий диапазон измеряемых давлений:
от 1,03 кПа до 2,68...3,447 МПа



Реклама



Symmetron

МОСКВА
Ленинградское шоссе, д. 69, к. 1
Тел.: +7 495 961-20-20
moscow@symmetron.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ул. Таллинская, д. 7
Тел.: +7 812 449-40-00
spb@symmetron.ru

НОВОСИБИРСК
ул. Блюхера, д. 716
Тел.: +7 383 361-34-24
sibir@symmetron.ru

МИНСК
ул. В. Хоружей, д. 1а, оф. 403
Тел.: +375 17 336-06-06
minsk@symmetron.ru

www.symmetron.ru



Рис. 2. Прецизионные датчики Bourns

- устройства защиты от перенапряжений (Surge Protection Devices) – устройства защиты в цепях переменного и постоянного тока, цепях передачи данных, коаксиальных трактах;
- переключатели – кнопочные и поворотные;
- продукты для профессиональной звуковой аппаратуры (ProAudio) и светотехники (Pro Lighting).

В группе датчиков для мониторинга окружающей среды Bourns представлены датчики давления и датчики влажности, причём многие типы таких изделий предназначены для эксплуатации в жёстких условиях: при повышенных ударных и вибрационных нагрузках, расширенном диапазоне рабочих температур и высокой влажности. Компания Bourns относится к сравнительно узкому кругу производителей, выпускающих продукты для жёстких условий эксплуатации.

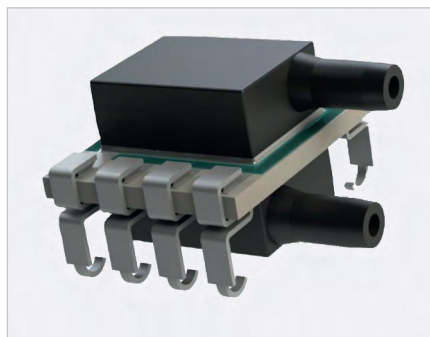


Рис. 3. Датчик давления BPS110

Внешний вид прецизионных датчиков Bourns для мониторинга окружающей среды показан на рисунке 2, датчики давления серии BPS (Bourns Precising Sensor) выполнены в компактных корпусах по инновационной МЭМС-технологии, обеспечивающей чрезвычайно высокую точность показаний. Чувствительные пьезорезистивные элементы датчиков сформированы на кремниевой диафрагме методом химического травления. Классификационные характеристики приборов приведены в таблице. Здесь и далее: psi – фунт на квадратный дюйм, 1 psi = $68,948 \times 10^{-3}$ бар; FS – от всей шкалы (всего диапазона значений).

Рассмотрим особенности компенсированных (в диапазоне рабочих температур) и некомпенсированных датчиков давления, а также датчиков влажности серии BPS более подробно.

Серия BPS110 (см. рис. 3) – компенсированные аналоговые датчики низкого

давления. Датчики имеют компенсированный аналоговый выход в мА, высокую чувствительность и предназначены для применения в чистых, сухих и некоррозионных средах. Основные области применения датчиков, рекомендованные производителем: системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC), мониторинга производственных процессов, автоматизации упаковки, диагностическое и аналитическое оборудование. Приведём некоторые характеристики датчиков серии:

- напряжение питания 2,7...5,5 В;
- ток потребления 1,25...2,4 мА (типичное значение 2 мА);
- минимальное сопротивление нагрузки 5 кОм (выходной ток до 1,9 мА);
- диапазон рабочих температур $-40...+85^{\circ}\text{C}$ (хранения $-55...+100^{\circ}\text{C}$);
- диапазон давлений от 0,15 psi (10,3 мбар) до 1,0 psi (68,9 мбар);
- точность при температуре 25°C – 0,25% FS.

Устройство датчика BRS110 показано на рисунке 4, установка прибора осуществляется посредством восьми выводов для монтажа в отверстия печатных плат (P1 – $U_{пит}$, P4 – корпус, P6 – аналоговый выход, остальные выводы не подключены). Конкретные характеристики различных исполнений приборов серии определяются буквенно-цифровой маркировкой в наименовании, например BPS110-AG0P15-2DG. В маркировке, в частности, учитывается диапазон давлений и некоторые конструктивные особенности.

Некомпенсированные датчики давления										
Серия	Тип давления	Диапазон давлений	Выход	Совместимые среды	Смещение, мВ/В	Нелинейность	Дрейф за срок службы	Упит, В	Диапазон температур	Размеры корпуса
BPS310	Относительное и дифференциальное	0,15...1,0 psi	мВ	Некоррозионные сухие газы	0±10	±0,25% FS	±0,5% FS	2,7–15	–40...+85°C	12 мм
BPS320	Абсолютное и относительное	15...500 psi	мВ	Некоррозионные сухие газы	0±10	±0,2% FS	±0,5% FS	1,5–15	–40...+85°C	6 мм
BPS330	Абсолютное и относительное	5...60 psi	мВ	Некоррозионные сухие газы	0±5	±0,25% FS	±0,5% FS	1,5–15	–40...+125°C	8 мм
BPS340	Абсолютное и относительное	15...500 psi	мВ	Жёсткие среды (воздух, жидкости, газы)	0±10	±0,2% FS	±0,5% FS	1,5–15	–40...+85°C	9 мм
Компенсированные датчики давления										
Серия	Тип давления	Диапазон давлений	Выход	Совместимые среды	Общая ошибка	Точность	Дрейф за срок службы	$U_{пит}$, В	Диапазон температур	Размеры корпуса
BPS110	Относительное и дифференциальное	0,15...1,0 psi	Аналоговый	Некоррозионные сухие газы	±1,5% FS	±2,5% FS	±0,5% FS	2,7–5,5	–40...+85°C	12 мм
BPS120	Относительное и дифференциальное	0,15...1,0 psi	Цифровой I ² C	Некоррозионные сухие газы	±1,5% FS	±2,5% FS	±0,5% FS	2,7–5,5	–40...+85°C	12 мм
BPS125	Относительное и дифференциальное	0,15...1,0 psi	Цифровой I ² C	Некоррозионные сухие газы	±1,5% FS	±2,5% FS	±0,5% FS	3,0–3,6	–40...+85°C	12 мм
BPS130	Абсолютное и относительное	15...500 psi	Аналоговый	Жёсткие условия (воздух, жидкости, газы)	±2,5% FS	±2,5% FS	±0,5% FS	4,5–5,5	–40...+150°C	10 мм
BPS140	Абсолютное и относительное	15...300 psi	Аналоговый	Жёсткие условия (воздух, жидкости, газы)	±2,5% FS	±2,5% FS	±0,5% FS	4,5–5,5	–40...+150°C	10 мм
Датчики влажности										
Серия	Выход	Разрешение	Диапазон	Точность	$U_{пит}$, В	Диапазон измеряемых температур	Размеры корпуса			
BPS240	Цифровой I ² C	10 бит	0...100%	±2% типовая	–0,3...+7	–30...+100°C	2 мм			

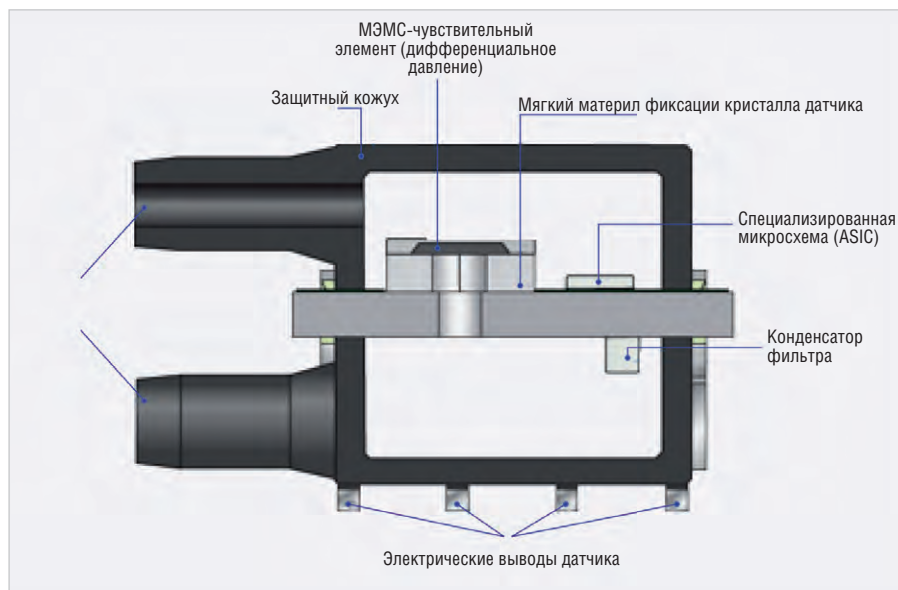


Рис. 4. Устройство датчиков BPS110

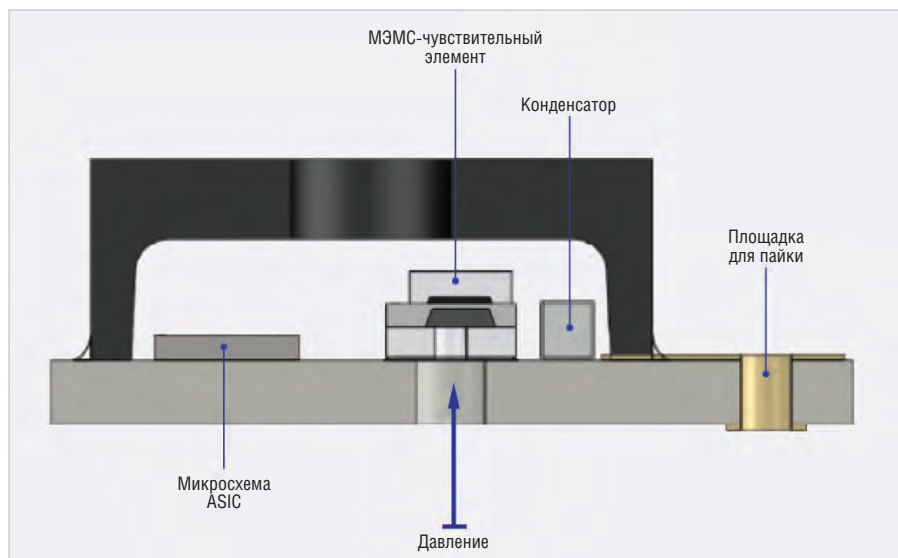


Рис. 6. Устройство датчика BPS130

Серии BPS120, BPS125 – компенсированные цифровые датчики низкого давления (внешний вид соответствует рисунку 3), также как и BPS110, приборы обеспечивают измерение относительного и дифференциального типов давления. Отличия касаются способа вывода данных, осуществляемого по цифровой шине I²C (выводы P7, P8 прибора). Для преобразования аналоговых сигналов от датчика давления в цифровую форму используется 13-разрядный АЦП со временем обновления около 8,5 мс, что обеспечивает точность измерения давления $\pm 0,25\%$ FS, а общая ошибка в диапазоне температур 0...+60°C не превышает $\pm 0,5\%$ FS.

Требования к параметрам сигналов интерфейса I²C – тактовая частота SCL 100...400 кГц, длительность импульсов SCL 0,1...0,6 мкс. Конкретные характери-

стики исполнений датчиков определяются буквенно-цифровой маркировкой в наименованиях, в том числе по наименованию можно определить тип измеряемого давления (относительное или дифференциальное) и диапазон давлений (три градации: 0,15, 0,3, 1,0 psi). Напряжение питания приборов серии BPS120 составляет 2,7...5,5 В при токе потребления 1,2...3,5 мА, серии BPS125 – 3,0...3,6 В при токе потребления 1,2...3,5 мА.

Серия BPS130 – аналоговый датчик высокого давления. Внешний вид приборов показан на рисунке 5. Основные особенности датчиков серии:

- компенсированный выход в мВ;
- непосредственный мониторинг среды;
- измерение относительного и абсолютного давления;
- применение в изолированной бортовой электронике;

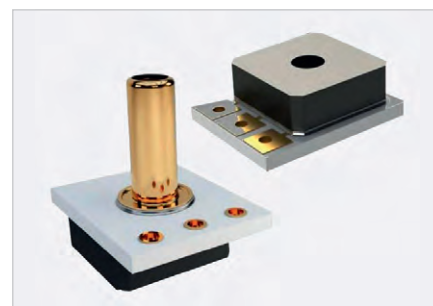


Рис. 5. Датчик BPS130

- золотое покрытие Kovar™ (как опция);
- соответствие директиве RoHS.

Рекомендуемые производителем области применения: промышленные холодильные установки и системы, измерение уровня воды, мониторинг давления, медицинские приборы, диагностическое и испытательное оборудование, топливные и нефтяные системы, измерители давления выхлопных газов. Устройство приборов серии показано на рисунке 6, в число материалов, контактирующих с внешней средой, входят кремний, стекло, керамика, золото, олово. Основные характеристики датчиков серии:

- напряжение питания 4,5...5,5 В (типичное значение 5 В);
- ток потребления до 10 мА;
- выходной ток до 2,5 мА;
- защита от неправильной полярности до –33 В, от повышенного напряжения до 33 В;
- диапазон рабочих температур –40...+150°C (хранения: –55...+150°C);
- диапазон изменения выходного сигнала 10–90% $U_{\text{пит}}$ (на уровне ограничения 5...95% $U_{\text{пит}}$);
- разрешение 0,02% FS;
- точность $\pm 0,25\%$ FS;
- полная ошибка в диапазоне температур –40...+150°C – $\pm 2,5\%$ FS.

Приборы предназначены для эксплуатации в жестких условиях внешней среды (воздух, жидкости, газы) и защищены от воздействия статического электричества до 4,5 кВ. В наименованиях датчиков учтены различия электрических и конструктивных характеристик различных исполнений, в том числе тип давления (относительное и абсолютное) и давлений (три градации – 15, 30, 100 psi).

Серия BPS140 (см. рис. 7) – компенсированные аналоговые датчики высокого давления. Приборы характеризуются в основном такими же электрическими и эксплуатационными параметрами, что и датчики серии BPS130, области применения также аналогичны.

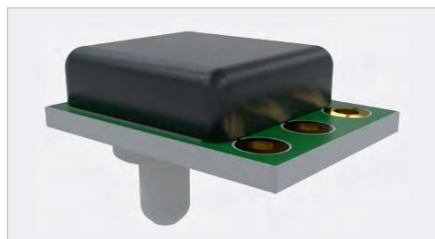


Рис. 7. Датчик BPS140



Рис. 8. Устройство BPS140

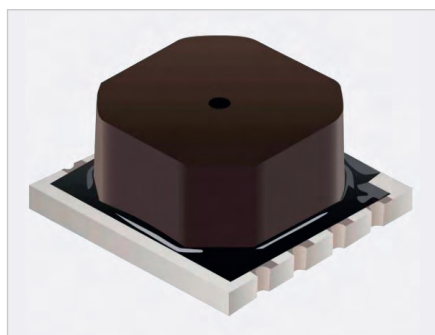


Рис. 9. Датчик BPS320



Рис. 10. Датчик BPS330

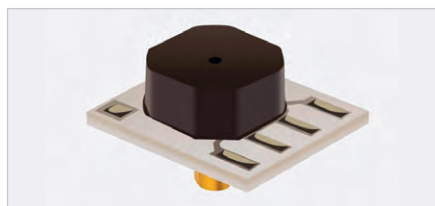


Рис. 11. Датчик BPS34

Отличия касаются только диапазонов измеряемого давления, выпускаются исполнения с диапазоном давлений 15 и 30 psi. Устройство приборов серии показано на рисунке 8.

Серия BPS310 – некомпенсированный аналоговый датчик низкого давления (внешний вид соответствует рис. 3). Основные особенности и характеристики приборов серии:

- некомпенсированный выход в мВ;
- высокая чувствительность;
- измерение абсолютного и дифференциального давления;
- применение в некоррозионных средах (жидкостях, газах);
- напряжение питания 5...15 В;
- ток потребления до 3 мА;
- диапазон рабочих температур –40...+85°C.

Диапазон измеряемых давлений определяется конкретным исполнением приборов и находится в пределах от 0,15 до 30 psi.

Серия BPS320 – аналоговый датчик низкого давления в компактном корпусе для монтажа на поверхность. Внешний вид прибора показан на рисунке 9. Основные особенности и характеристики датчиков серии:

- некомпенсированный аналоговый выход в мВ;
- измерение абсолютного и дифференциального давления;
- напряжение питания 5...15 В;
- диапазон рабочих температур –40...+85°C.

Диапазон измеряемых давлений определяется конкретным исполнением приборов и находится в пределах от 15 до 500 psi.

Серия BPS330 – аналоговый датчик среднего (Medium) давления в компактном корпусе. Внешний вид прибора серии показан на рисунке 10. Основные особенности и характеристики датчиков серии:

- некомпенсированный аналоговый выход;

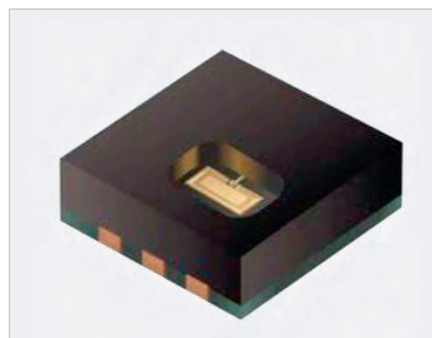


Рис. 12. Датчик BPS240

- измерение абсолютного и дифференциального давления;
- опционная керамическая трубка для подачи газов;
- опционное гелевое покрытие для кондиционерных приложений;
- напряжение питания 5...15 В;
- ток потребления не более 1,2 мА;
- диапазон рабочих температур –40...+125°C;

Диапазон давлений определяется конкретным исполнением приборов и находится в диапазоне от 5 до 60 psi.

Серия BPS340 (см. рис. 11) – аналоговый датчик среднего давления в компактном корпусе для монтажа на поверхность. Основные особенности и характеристики датчиков серии:

- некомпенсированный аналоговый выход в мВ;
- измерение абсолютного и дифференциального давления;
- непосредственный мониторинг окружающей среды, в том числе с жесткими условиями;
- золотое покрытие контактов;
- напряжение питания 1,5...15 В (типичное 5 В);
- ток потребления не более 3 мА;
- диапазон измеряемых давлений в зависимости от исполнений от 15 до 500 psi.

В ассортименте Bourns также имеются датчики влажности серии BPS240 (см. рис. 12). Датчики серии изготавливаются по инновационной ёмкостной технологии и выполнены в миниатюрных корпусах размерами 2×2×1,25 мм. Основные особенности, преимущества и характеристики приборов серии:

- высокая надёжность и стабильность характеристик;
- высокая чувствительность;
- высокая точность измерения влажности – ±2,0% RH в диапазоне 0...100% RH;
- диапазон рабочих температур –30...+100°C;
- низкое напряжение питания (1,62...5,5 В) и малый ток потребления;
- цифровой выход в формате I²C.

Области применения датчиков, рекомендуемые производителем в промышленности: системы HVAC, мониторинг влажности и температуры, контроль процессов производства продуктов питания, оборудование помещений, сельскохозяйственное и силосное производство, автоматизация упаковки. Области применения в медицинских приборах: портативные кислородные генераторы, распылители (небулайзеры), аппараты искусственной вентиляции лёгких (CPAP).





Свобода проектирования



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

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

Беспилотная навигация: компоненты и решения

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru),
Андрей Михеев (am@mp-lab.ru), **Андрей Родин** (info@mp-lab.ru)

Средства инерциальной навигации широко используются в проектах по созданию беспилотного транспорта. В этой статье описаны основные принципы управления беспилотными транспортными средствами с использованием МЭМС-датчиков движения.

Пандемия 2020 года внесла ощутимые коррективы в сложившиеся жизненные уклады населения различных стран независимо от уровня развития их экономики. Отдельные отрасли, такие как фармакология, информационные технологии, стали мегабенефициарами, другие – получили и реализовали шанс для выхода на рынок с передовыми разработками, которые в другой обстановке появились бы в широком повседневном обиходе только в «эволюционном» порядке – через 3...5 лет. Такими счастливицами стали, среди прочих, разнообразные беспилотные системы, которые, в свою очередь, немислимы без надёжных систем автономной навигации.

Неавтономные методы навигации знакомы нам с детства и основываются на использовании внешних ориентиров или сигналов, например звёзд, маяков, радиосигналов и т.п. Эти методы достаточно просты, но в ряде случаев не могут быть реализованы из-за отсутствия видимости, а также подготовленной инфраструктуры с опорными точками, наличия помех для радиосигналов и т.д. Таким образом, потребность в автономных навигационных системах стала причиной возникновения инерциальной навигации.

В общем случае инерциальной навигацией называют метод навигации – определения координат и параметров движения различных объектов (автомобилей, судов, самолётов, ракет и др.)

и управления их движением, основанный на свойствах инерции тел и являющийся автономным, то есть не требующим наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов.

Инерциальные навигационные системы для беспилотного транспорта

В 2018 году Лаборатория Микроприборов разработала инерциальную навигационную систему (ИНС) ГKB-11 с встроенным приёмником ГНСС (Global Navigation Satellite System, глобальная навигационная спутниковая система) метровой точности. Данный модуль позволяет получить курс объекта, например автомобиля, в движении, рассчитать ориентацию и поддерживать автономную навигацию при кратковременной потере сигнала ГНСС (см. рис. 1). ИНС ГKB состоит из МЭМС-датчиков – датчиков угловой скорости и акселерометров, высокопроизводительного вычислителя, приёмника ГНСС, магнитометра и необходимой периферии. Для вычисления навигации инерциальный модуль обрабатывает инерциальные и ГНСС-данные. Ошибки, вызванные шумами и нестабильностью инерциальных датчиков, корректируются по данным ГНСС-приёмника.

Для беспилотного транспорта приёмника ГНСС метровой точности недостаточно, необходимо использовать приёмники, вычисляющие координаты с сантиметровой точностью в реальном

времени (RTK – Real Time Kinematic). Поэтому была проведена модернизация ГKB-11, в ходе которой внутрь устройства интегрирован двухчастотный ГНСС-приёмник с поддержкой функции RTK.

Дальнейшим развитием ИНС с интеграцией ГНСС явилось создание инерциальных модулей ГKB-12 с двухантенным решением для получения курсовой информации в статическом положении (см. рис. 2). Модули ГKB-12 используются, в частности, в проекте беспилотного автомобиля, разрабатываемом Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ), предыдущая версия, принимавшая участие в квалификационных заездах конкурса беспилотного транспорта «Зимний город», показана на рис. 3.

Комплексирование инерциальной навигации с ГНСС

Комплексированное навигационное решение позволяет вычислять ориентацию ИНС с высокой точностью при высокой динамике, в зависимости от характеристик датчиков – от 0,5 до 0,01°, а также работать автономно при отключении или пропадании ГНСС-сигнала. Чем стабильнее и точнее инерциальная часть, тем дольше будет сохраняться навигация без дополнительной коррекции. На рисунках 4...6 показаны проезды под мостом, по туннелю, а также при плотной городской застройке.



Рис. 1. Семейство модулей ИНС с ГНСС: ГKB-6, ГKB-11



Рис. 2. Двухантенный инерциальный модуль ГKB-12



Рис. 3. Беспилотная система, созданная кафедрой «Организация и безопасность движения» МАДИ, с инерциальной навигационной системой ООО «ЛМП»

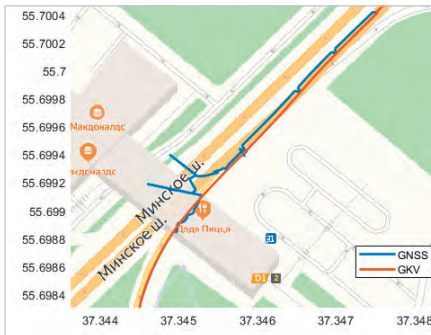


Рис. 4. Проезд автомобиля под мостом

Общий принцип вычисления навигации инерциальным модулем с коррекцией от ГНСС-приёмника, или как работает комплексированное навигационное решение

Навигационный алгоритм считает навигационное решение в геодезической системе координат (СК) Север-Восток-Низ (NED). Начало СК в точке включения или при включении в движении в точке схождения решения с координатами XYZ, где X – проекция вектора положения на ось, направленную на север, Y – на ось, направленную на восток, Z – на ось, направленную по вектору силы тяжести Земли.

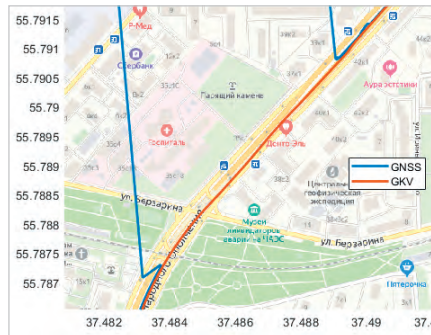


Рис. 5. Проезд автомобиля по туннелю

ГНСС передаёт координаты в геоцентрической ECEF (Earth-centered, Earth-fixed) или эллиптической LLA (геодезические широта, долгота, высота) системах координат, которые внутри алгоритма преобразуются в СК NED и выполняется коррекция инерциальной навигации. Абсолютная точность координат, выдаваемых навигационным алгоритмом, в геодезической СК полностью зависит от точности координат ГНСС-приёмника.

После включения ИНС и ГНСС работа навигационного алгоритма построена следующим образом:

1. выставка – вычисление углов склонения в стартовой системе координат



Рис. 6. Проезд автомобиля при плотной застройке

нат и нулевых значений инерциальных датчиков;

2. вычисление курса в достоверном интервале;
3. доворот стартовой СК к NED;
4. основная работа навигационного алгоритма.

При этом важно:

- координаты XYZ начинают рассчитываться с момента вычисления углов склонения, но так как курс в начальный момент может быть неизвестен, то после этапа 2 происходит коррекция (учёт полученного курса) и координаты доворачиваются до СК NED скачком;

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...





STÄUBLI

АРЕБОС

ИНТЕГРАЛ

МЭЛЭКТРОНИКА

ЭМИПАН

АУСМЕД

amul

АЕДОН

KBcустемы

TDK-Lambda

TESLA ELECTRIC

Great River Technology

ChipSTAR

ДО ГИРООПТИКА

Microsemi

Maxwell

Glenair

АЭ

COVA

MEGGITT

CYPRESS

CRANE

INTERPOINT

ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ

SAFRAN

Colibrys

sensoror

HiRel

anadigm

ПАО «ЗАВОД АТЛАНТ»

MT MICROSYSTEMS

SGX

SENSORTECH

Wolfspeed

CREE

ЭЛЕКТРОСОЕДИНИТЕЛЬ

Honeywell

ИДМ ПЛЮС

СНЕЖЕТЬ

Civilux Group

GSS

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ

Лаборатория

микросистем

TRIVAL

antenne

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ



Актуальный склад -
смотрите онлайн

Реклама

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru

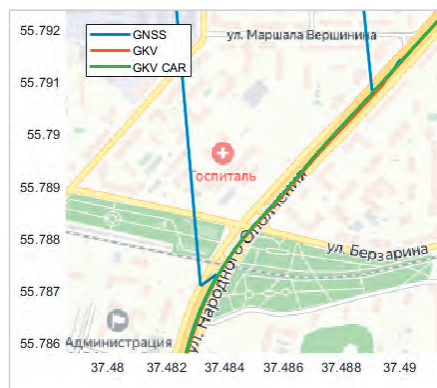


Рис. 7. Общий вид проезда под мостом



Рис. 8. Сравнение траекторий автомобиля при проезде под мостом:

красная – без поведенческой модели, зелёная – с поведенческой моделью автомобиля

- до основной работы навигационного алгоритма выдаваемые координаты в географической СК полностью копируют координаты от приёмника ГНСС;
- по умолчанию инерциальные данные выдаются с частотой 1 кГц, но обновление навигационного алгоритма в текущей реализации производится с частотой 100 Гц, поэтому ориентация, скорости и координаты обновляются с частотой не более 100 Гц.

Типы выставки навигационного алгоритма

К моменту настоящей публикации Лабораторией Микроприборов представлено четыре типа выставки для навигационного алгоритма с коррекцией от данных ГНСС-приёмника для различных прикладных задач.

Выставка из покоя

Инерциальный модуль должен находиться в состоянии покоя, т.е. угловые скорости и кажущееся линейное ускорение не должны меняться первые 10 с, за это время усредняются показания датчиков угловой скорости (ДУС) и акселерометров. Усреднённое значение ДУС в дальнейшем учитывается как смещение нулей ДУС, а усреднённые значе-

ния акселерометров применяются для вычисления начальных углов склонения. Курс вычисляется после начала движения при достижении приёмником ГНСС порогового значения горизонтальной скорости в течение определённого времени. По умолчанию это скорость 2 м/с в течение непрерывного периода времени 2000 мс. До момента вычисления курса рекомендуется двигаться прямолинейно.

Указанный выше временной интервал 10 с выбран, исходя из времени корреляции нестабильности смещения нуля ДУС по дисперсии Аллана (среднеквадратическое относительное двухвыборочное отклонение), но этот параметр может быть задан пользователем.

Выставка в динамике на основе данных ГНСС

Алгоритм постоянно пробует найти участок, где можно вычислить начальные углы, как правило, это участок с постоянной горизонтальной скоростью, и далее ждёт манёвра в течение 20 с, т.е. изменения скорости для вычисления курса и доворота стартовой СК к геодезической СК и переходу к основному навигационному алгоритму.

Выставка в качке на основе данных ГНСС

Для работ на воде была введена отдельная выставка, при которой алгоритм ищет начальные углы склонения. Затем расчёт корректируется минимум каждые 1000 мс от ГНСС. Корректировка по курсу производится отдельной командой, после чего запускается основной навигационный алгоритм.

Выставка из покоя с использованием курса от ГНСС

Специально для беспилотных автомобилей введена выставка без начального поиска курса. Переход к основному навигационному решению осуществляется после выставки из покоя сразу же, при условии получения от ГНСС флага фиксированного решения и данных о курсе между мастер-антенной и ровер-антенной. Такая выставка возможна при использовании модуля ГКВ-12 или внешнего ГНСС-приёмника с двумя антеннами.

Коррекция по поведенческой модели автомобиля

Существует возможность длительного удержания автономного навигационного решения при наложении ограниче-



Рис. 9. Заезд автомобиля на парковку по спирали

ний на кинематическую модель. Например, для автомобиля можно оставить скорость по ходу движения без коррекции или корректировать от одометра, а остальные скорости принять равными нулю, т.к. автомобиль в общем случае не едет боком и не взлетает.

В таком случае значительно повышается время автономной работы навигационного модуля. При проезде под мостом алгоритм с коррекцией по модели автомобиля приводит в точку возобновления ГНСС-решения (см. рис. 7), в то время как чисто автономный навигационный алгоритм допускает большую ошибку (см. рис. 8).

Особенно это заметно при более динамичном движении, таком как заезд на многоуровневую стоянку по спиральному подъёму. Алгоритм с наложением ограничений повторяет траекторию движения по спирали (вид сверху – круг), в то время как чистая автономная навигация «разваливается», и видно, что ось спирали наклонена.

Такая коррекция может использоваться для удержания координат при парковке прокатных автомобилей на многоуровневых крытых паркингах, где возникают проблемы с завершением аренды из-за выхода за разрешённую зону парковки (см. рис. 9).

Почему инерциальная навигационная система ошибается

Основную массу ошибок составляют ошибки ориентации. В сводной таблице приведён анализ влияния ошибок на расчёт скорости и положения (см. табл.).

Ошибка в масштабном коэффициенте особенно заметна при постоянном вращении в одном направлении. Как правило, движение автомобилей носит случайный характер, и сумма

Интегрирование ошибки датчиков угловой скорости (гироскопы)	
– Нестабильность смещения нуля – Ошибка масштабного коэффициента – Нелинейность передаточной функции – Неортогональность осей – Температурный уход нуля и масштабного коэффициента	Ошибка в $0,1^\circ$ ведёт к ошибке в скорости 17 мм/с За 10 с ошибка скорости составляет 170 мм/с За 60 с ошибка скорости составляет 1 м/с
Ошибка измерения линейного ускорения (акселерометры)	
– Ошибка от включения к включению – Нестабильность смещения нуля – Ошибка масштабного коэффициента – Нелинейность передаточной функции – Неортогональность осей – Температурный уход нуля и масштабного коэффициента	Ошибка в 1 мг ведёт к ошибке в положении: За 1 с – 5 мм За 10 с – 25 см За 60 с – 18 м

всех поворотов стремится к нулю, поэтому ошибка масштабного коэффициента вносит в таких случаях малый вклад.

При ошибке ориентации угловая скорость по одной из осей вращения вносит свою проекцию на остальные оси, например, при ошибке в 1 мрад ($0,057^\circ/\text{с}$) проекция угловой скорости вдоль оси Z, равная $120^\circ/\text{с}$, на осях X (крен) и Y (тангаж) составит $0,12^\circ/\text{с}$, за 3 с вращения (поворот на 360°), ошибка ориентации увеличится по крену и тангажу на $0,36^\circ$.

Для списывания накопленных ошибок ИНС необходимо подключать

дополнительные источники коррекции на других принципах работы. Для беспилотного автомобиля корректорами могут выступать:

- датчик скорости;
- лидар;
- радар;
- одометр;
- датчик давления;
- другие источники.

Другие варианты применения

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА)

Для БПЛА были разработаны малогабаритные инерциальные модули ГКВ-5

и ГКВ-6, которые могут использоваться в составе автопилота или для проведения геодезических изысканий, таких как фотограмметрия или создание облака точек с привязкой к координатам.

Наведение и стабилизация спутниковых антенн

Лабораторией Микроприборов был разработан алгоритм наведения и стабилизации спутниковых антенн при движении по суше, в воздухе и на море. В качестве корректора используется ГНСС-приёмник, но также возможна коррекция по уровню сигнала от космического спутника.

К настоящему моменту ООО «ЛМП» одновременно реализует 10 проектов по беспилотной навигации с использованием описанных подходов, а общее число находящихся в активной разработке клиентских проектов с использованием инерциальных МЭМС датчиков – свыше 30 на начало 2021 года, всего же более 100 отечественных и зарубежных компаний внедрили или намерены внедрить продукцию и технические решения российского производителя.





Акционерное общество
ЭРКОН
Научно-производственное объединение

www.erkon-nn.ru
e-mail: info@erkon-nn.com

Разработка и производство постоянных непроволочных резисторов, СВЧ резисторов, поглотителей и чип-индуктивностей.

- Современная производственная база.
- Высокое качество.
- Индивидуальный подход к потребителю.

Новинки:

Аттенюатор (поглотитель) ПР1-25 (150 Вт, от 3 до 30 Дб)
 Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 20 ГГц)
 Мощный резистор Р1-170 (до 1000 Вт)

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6,
 помещение ПЗ, этаж 2, офис 204
 тел. (831)464-50-21 (приемная), (831)202-25-52 отдел продаж



Реклама

Модулируемый СВЧ-генератор

Алексей Ложников, Сергей Доберштейн

В статье рассмотрены вопросы реализации малогабаритных СВЧ-генераторов на ПАВ-резонаторах с возможностью импульсной модуляции выходного сигнала.

В настоящее время для различной аппаратуры связи необходимы малогабаритные СВЧ-генераторы с малым уровнем фазовых шумов, относительно высокой температурной нестабильностью в широком интервале рабочих температур (ИРТ) и малым временем включения и выключения при подаче управляющего напряжения. За счёт малого времени включения/выключения возможна модуляция и, соответственно, формирование сигнала в радиопередающих устройствах связи СВЧ-диапазона.

Решению указанных выше проблем посвящена разработка аналога генераторов моделей AXGS10, AXGS20 производства компании Axtal GmbH & Co (Германия) на частоты от 500 МГц до 2 ГГц.

Для перекрытия всего диапазона частот необходимо изготовить ПАВ-резонатор на частоты от 500 до 1000 МГц. Варианты генератора с выходной частотой 1,0...2,0 ГГц реализуются за счёт схемы удвоения частоты.

Такое техническое решение позволяет использовать более низкочастотные ПАВ-резонаторы, являющиеся более технологичными и надёжными, для повышения стабильности параметров генератора.

Для получения низкого уровня фазовых шумов требуется высокая добротность ($Q \geq 8000$), что реализуется в резонаторах на поверхностных поперечных волнах (Surface Transverse Waves – STW). STW-резонаторы на кварце имеют высо-

кую скорость распространения акустической волны ($V_0 = 5000$ м/с), низкий температурный коэффициент частоты ($0,05 \cdot 10^{-6}$ $1/^\circ\text{C}^2$), выдерживают большую мощность подводимого сигнала (до нескольких Вт). Ширина электродов и зазоров встречно-штыревого преобразователя (ВШП) составляет 2,5...1,5 мкм для рабочих частот 500...1000 МГц, что облегчает фотолитографию при изготовлении резонаторов. Всё это позволяет успешно использовать STW для создания высокочастотных резонаторов [1–3]. Однако для обеспечения высокой добротности Q требуется большое число электродов (400) в отражательных решётках (ОР). Это приводит к увеличению размеров резонаторов, особенно на частотах менее 1 ГГц. В ито-

ге для схемы генератора разработаны STW-резонаторы с высокой добротностью и уменьшенными размерами на $YX/36^\circ + 90^\circ$ срезе кварца. Резонаторы выполняются по одноходовой схеме, когда встречно-штыревой преобразователь (ВШП) располагается между двумя ОР с закороченными электродами (см. рис. 1).

Ключ разрешения выхода для обеспечения быстрого включения/выключения выполнен на PIN-диодах. Различные схемы включения PIN-диодов позволяют добиться оптимальных для заданных требований запирающих сигнала и вносимых потерь. Существуют четыре основных вида схем: последовательная, шунтирующая, последовательно-шунтирующая и Т-образная, использующие по одному, по два (последовательно-шунтирующая) и три PIN-диода (Т-образная).

Схема выбирается, исходя из требуемой задачи по ослаблению сигнала в выключенном состоянии и исходя из

Таблица 1. Расчётные данные по типам схем включения PIN-диодов

Тип схемы	Ослабление в выключенном состоянии, дБ	Вносимые потери, дБ	Количество PIN-диодов
Последовательная	12,3	0,5	1
Шунтирующая	14,3	0,02	1
Последовательно-шунтирующая	25,7	0,27	2
Т-образная	48,6	0,53	3

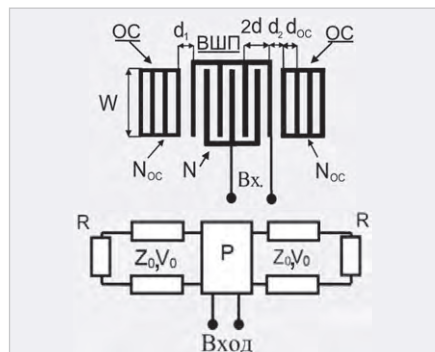


Рис. 1. Топология одноходового ПАВ-резонатора и его эквивалентная схема

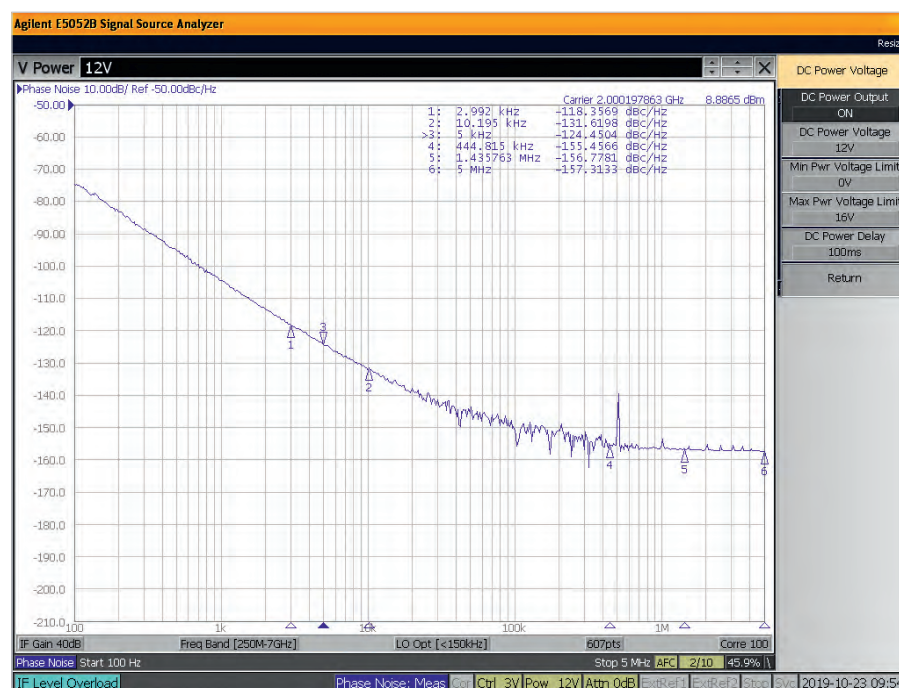


Рис. 2. Результат измерения уровня спектральной плотности мощности фазовых шумов генератора с выходной частотой 2000 МГц

Таблица 2. Сравнение технических характеристик генераторов-аналогов с разработанным генератором

Параметр	AXGS10(20)	ГК399-С
Диапазон частот, МГц	950...1532	500...2000
Относительная температурная нестабильность частоты, ppm в диапазоне температур, °C	±350 -40...+85	±285 -60...+85
Управляющее напряжение, В лог «0» лог «1»	0...1,5 3,5...5,5	0...0,4 2,4...5,0
Время включения, нс, не более	40	50
Время выключения, нс, не более	30	50
Форма сигнала при нагрузке 50 Ом	Синус	Синус
Напряжение питания, В	4,75...5,25	5,0; 12,0
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+85	-60...+85
Уровень СПМ фазовых шумов при отстройке 5 кГц, дБн/Гц	–	–115
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	20,7×13,1×5,2	20,7×13,1×5,2
Вес, г, не более	5	4
Герметичность	Негерметичный	Герметичный

параметров PIN-диода. Формулы для расчёта приведены в [4, 5]. Результаты расчётов для выбранного PIN-диода приведены в таблице 1.

Результаты расчёта показали, что наиболее оптимальным вариантом для выполнения требований по ослаблению сигнала в выключенном состоянии является использование Т-образной схемы.

Для управления включением/выключением используется драйвер на базе п-р-п транзистора. Схема основана на рекомендациях из [6, 7]. Для увеличения скорости включения/выключения однополярное питание +5 В преобразовано в двухполярное –1,7 и +3,3 В. Смена полярности напряжения на PIN-диоде увеличивает скорость включения/выключения в 20...50 раз, что проверено при макетировании схем.

В итоге получено изделие, содержащее следующие функциональные блоки: ПАВ-резонатор, автогенератор на одном или двух транзисторах, усилитель на одном транзисторе, высоко-

скоростной ключ разрешения выхода. Блоки размещены в одной микросборке, изготовленной из низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (Low Temperature Co-fired Ceramics Technology, LTCC-технология). Подложка микросборки является дном корпуса генератора, на неё методом пайки устанавливается металлическая крышка, обеспечивая герметичность генератора.

Применение ПАВ-резонатора с высокой добротностью после умножения на 2 схемой автогенератора позволило получить следующие фазовые шумы (см. рис. 2).

Генераторы конструктивно исполнены в двух вариантах: в выводном корпусе DIL-14 (четыре вывода, 20,8×13,1×7,3 мм (Д×Ш×В)) для монтажа в отверстия печатной платы и безвыводном (4 контактных площадки, 20,7×13,1×5,2 мм) для монтажа на поверхность печатной платы (см. рис. 3).

Сравнение технических характеристик генераторов-аналогов с разработанным генератором приведено в таблице 2.



Рис. 3. Генераторы ГК399-С-Б и ГК399-С-В

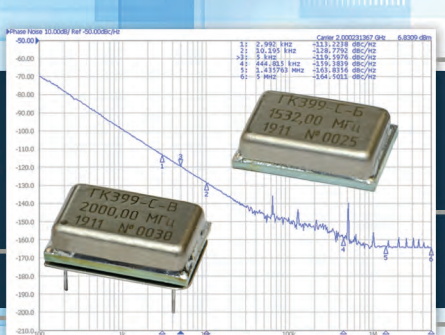
Время включения/выключения выхода генератора при внешнем управлении менее 50 нс позволяет использовать данные генераторы в качестве формирователя сигналов амплитудной манипуляции с технической скоростью до 2 МБод (при времени установления сигнала 1/10 посылки).

Литература

1. Friedt J.-M. Design of Asynchronous STW Resonators for Filters and High Stability Source Applications. Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2005. P. 1315–1318.
2. Wang W. Optimization of STW Resonator by Using FEM/BEM. Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2006. P. 1863–1865.
3. Kim C. U. High Q-factor STW-Resonators on AT-Cut of Quartz. Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2007. P. 2582–2585.
4. Reference Data For Radio Engineers. H. W. Sams & Co. A Subsidiary of ITT. NY. 1979. Ch. 36.
5. W. E. Doherty, Jr., The Use of Transmit. Receive Antenna Switches For Wireless. Communications Systems. MICRO
6. CURRENTS. Microsemi Corporation. 1997–1998. P. 5–6.
7. Microsemi-Watertown. The PIN-diode Circuit Designers Handbook. 1998.
8. Driving Circuits and Interfaces for PIN Diodes and Ferrite Phase Shifters C. J. Georgopoulos, Interface Control Technologies Inc. 1990. Ch. 3–4.



ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



АО «ОНИИП» освоил выпуск СВЧ-генераторов, которые могут использоваться как тактовые, так и в качестве формирователя сигналов амплитудной манипуляции в аппаратуре группы 4У.

Основные технические характеристики:

- Диапазон номинальных частот от 500 до 2000 МГц
- Время включения/выключения не более 50 нс
- Выходной сигнал синусоидальный, 7 дБм
- Диапазон рабочих температур от минус 60 до +85 °C
- Габаритные размеры 20,7×13,1×5,2 мм

Россия, Омск, 644009, Масленникова 231, тел. (3812) 514900, факс. (3812) 536673, e-mail: info@oniip.ru, http://www.oniip.ru.

Новый сервопривод Futaba BLA21-06U-A01 для промышленных БПЛА

Алексей Кузнецов (АО «Компонента»)

Futaba Corporation известна как ведущий производитель инструментов и форм для литья под давлением, а также VFD-, LCM-, PMOLED-дисплеев и сенсорных панелей. Также компания производит радиоконтроллеры и сервоприводы для любительских радиоуправляемых моделей и промышленных БПЛА.

При видимой конструкционной простоте сервопривод является сложным сборным изделием. Двигатель, его блок управления и контроллер регулируемых параметров – взаимосвязанные элементы механизма.

Промышленность, станковое оборудование и многие другие сферы применения подобных устройств, требуют всё более высокой точности в работе различных систем. Спрос современного рынка на прецизионные агрегаты посто-

янно растёт и является импульсом для эволюционирования сервоприводов.

Сейчас подобные двигатели используются в различных технических областях. Широкое распространение они получили, конечно же, в производственных линиях: это программируемые автоматы, роботы, станки. В последнее время популярным направлением стала и беспилотная техника, где критерии энергоэффективности и надёжности особенно актуальны.

Именно для рынка беспилотных технических средств Futaba и выпустила новый сервопривод – BLA21-06U-A01 (см. рис. 1). Целью разработки стало создание изделия с увеличенным по сравнению с обычными сервоприводами промышленного применения рабочим ресурсом. Для повышения долговечности была полностью переработана механическая часть и применён бесколлекторный двигатель.

Тем самым было достигнуто сокращение количества отказов, вызываемых трением. В качестве двунаправленной связи была применена CAN-шина, что существенно расширило операторские возможности пользователя. Благодаря поддержке протокола UAVCAN доступен не только сбор данных технического состояния, но и появилась возможность оперативного реагирования на полученные данные. Краткое сравнение характеристик новой модели с существующей приведено в таблице.

Особенности нового сервопривода

Высокая прочность

В BLA21-06U-A01 установлен компактный и надёжный блок редуктора новой конструкции. Внутри дюралюминиевого корпуса смонтирован редуктор с 6 шестернями высокой прочности. Это положительно сказалось на устойчивости к ударам и трению. В подшипниках каждой шестерни применены шарики из высококачественных материалов, что обеспечивает плавное вращение даже после долгих часов работы (см. рис. 2). Внутривзаводские тесты на долговечность показали, что сервопривод без проблем проработал с номинальным крутящим



Рис. 1. Внешний вид BLA21-06U-A01

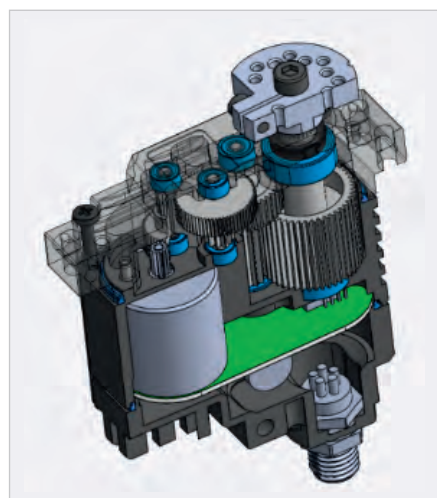


Рис. 2. Изометрический разрез BLA21-06U-A01

Сравнительная таблица технических параметров существующего и нового изделий

	Существующий BLA1HH21	Новый BLA21-06U-A01
Наработка до отказа	300 ч	Более 1 500 ч
Пыле- и влагозащита	IP64	IP67
Протокол связи	PWM	UAVCAN
Датчик углового положения	Контактный	Бесконтактный
Тип двигателя	Бесколлекторный	Бесколлекторный
Варианты крепления	Один	Два

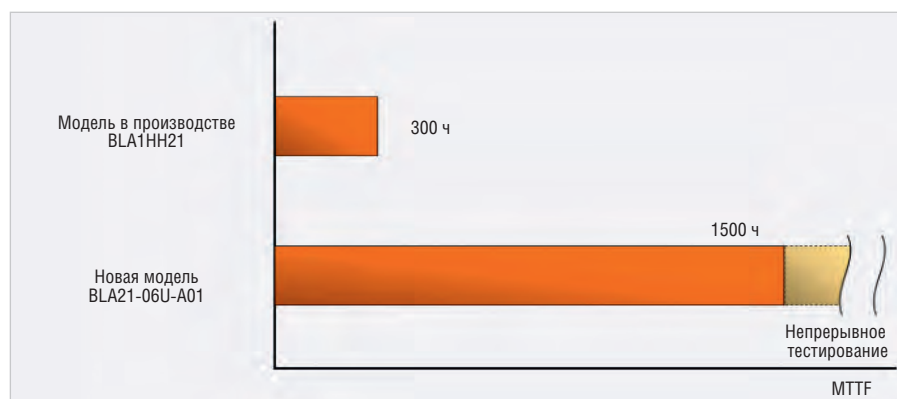


Рис. 3. Сравнительная диаграмма наработки до отказа

моментом (увеличенным в 1,5 раза относительно предыдущего поколения изделий) более 1500 ч. По итогам испытаний определено, что время работы нового сервопривода пятикратно превышает время наработки на отказ предыдущей модели BLA1HH21 (см. рис. 3).

Высокая степень защиты

Новейший BLA21-06U-A01 полностью соответствует высокому уровню корпусной защиты (IP67) согласно международной классификации. Кроме того, в ходе внутренних испытаний компании было подтверждено, что даже после более чем миллиона циклов работы сервопривод отвечает стандарту IPX7. Такие высокие показатели были достигнуты благодаря использованию специальных прокладок на выходном валу, обеспечивающих хорошую гидроизоляцию и обладающих устойчивостью к воде.

Протокол UAVCAN

BLA21-06U-A01 совместим с протоколом обмена UAVCAN v0, который соответствует промышленному стандарту связи CAN-bus. Данный протокол используется в основном в бес-



Рис. 4. Пример соединения и обмена данными по CAN-шине

пилотных летательных аппаратах и робототехнике. UAVCAN не является независимым стандартом связи для сервоприводов.

Благодаря использованию CAN bi-di-rectional communication control (двухнаправленного контроля связи CAN-шины) теперь доступно внешнее управление сервоприводом, возмож-

ность устанавливать коэффициенты усиления и различные ограничения, получать параметры датчиков, собирать информацию об ошибках и т.д. В дополнение к стандартным командам контроля углового положения и сбора данных появилась поддержка команд регулировки скорости и крутящего момента (см. рис. 4).



АО «Компонента» – официальный дистрибьютор Weipu в России

Влагозащищенные разъемы Weipu

Серия: SF

Корпус: хромированная латунь

Степень защиты: IP67

Тип соединения: Push-Pull

Тип монтажа: припой, винт, обжим

Изоляция: ПФС, до 260°C

Контакты: позолоченная латунь

Диаметр кабеля: 3–12 мм

Температурный диапазон: –40°C до +85°C



8 495 150 2 150



www.komponenta.ru



info@komponenta.ru

На правах рекламы

Бесколлекторный двигатель

В бесколлекторном двигателе функцию ротора выполняют магниты, размещённые вокруг вала, а разнополюсные обмотки располагаются вокруг ротора. Непосредственно на роторе размещается электромагнитный бесконтактный сенсор контроля углового положения. Датчик передаёт необходимые данные процессору с регулятором скорости вращения.

Конструкция бесщёточных двигателей, в отличие от коллекторных, имеет следующие преимущества:

- почти полное отсутствие трения. Незначительным исключением являются подшипники, которые в перспективе подлежат износу;
- отсутствие «паразитных» вибраций, благодаря бесконтактному исполнению;
- отсутствие перегрева из-за отсутствия трения;
- контроллер свободен от радиопомех (т.к. нет трения щеток). Чистый сигнал;
- высокая надёжность;
- высокие эксплуатационные характеристики.

Было подтверждено, что угловые значения, полученные с датчика



Рис. 5. Варианты крепления сервопривода

контроля угла и двигателя за более чем 1000 ч работы (при постоянном ускорении 300 м/с^2), полностью соответствуют стандарту IEC. 60068-2-6 и не имеют каких-либо отклонений.

Варианты установки корпуса

Ещё одним преимуществом BLA21-06U-A01 является универсальность

крепления. На фронтальной поверхности и по бокам сервопривода расположены отверстия для крепёжных винтов (как показано на изображениях). Вариативность монтажа предоставляет пользователю возможность использования сервопривода под различные эксплуатационные задачи (монтажная пластина и винты в комплект не входят) (см. рис. 5).



МИКРОВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

INWAVE.RU

+7 (495) 137-5335

MWT-400

векторный генератор сигналов

Сделано в России



- Диапазон рабочих частот
8 кГц - 40 ГГц

- • Фазовый шум
-140 дБн/Гц

- • • Ширина полосы цифровой модуляции
560 МГц

- • • • Интерфейс ввода данных и управления
10 Гбит/с

- • • • • Виды модуляции
M-PSK, M-QAM, OOK, M-ASK, M-FSK, MSK, GMSK, произвольный

Реклама

Контрольно-измерительное оборудование

INWAVE



Простой выбор источника питания

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



Источники питания открытого типа

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



Конфигурируемые источники питания

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



Для монтажа на DIN-рейку

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



Корпусированные источники питания

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



DC/DC-преобразователи

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



Высоковольтные источники питания

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



Практика использования встроенного АЦП в ПЛИС семейства MAX 10

Часть 2. Работа с АЦП в ПЛИС семейства MAX 10

Павел Редькин (г. Ульяновск)

Статья содержит информацию по практическому применению аппаратного модуля АЦП, входящего в состав ПЛИС семейства MAX 10 производства Intel (Altera). Во второй части статьи рассмотрены вопросы создания проекта ПЛИС с модулем АЦП в среде Quartus II, настройки конфигурации АЦП в проекте, загрузки конфигурации в ПЛИС на примере конкретной отладочной платы с ПЛИС семейства MAX 10.

Аппаратная платформа ПЛИС с АЦП

В качестве аппаратной платформы ПЛИС с АЦП в данной статье применена отладочная плата Altera MAX 10 FPGA, имеющая «на борту» ПЛИС семейства MAX 10 10M08SAE144C8G с 8000 логическими элементами и одним встроенным аппаратным модулем АЦП. Принципиальную схему и описание платы Altera MAX 10 FPGA можно загрузить со страницы производителя [1].

Помимо ПЛИС на плате Altera MAX 10 FPGA имеется разъём mini-USB для подачи внешнего напряжения питания, стабилизатор напряжения +3,3 В, кварцевый генератор с частотой 50 МГц, микросхема источника опорного напряжения (ИОН), разъём JTAG для загрузки и конфигурирования ПЛИС, схема сброса ПЛИС, пользовательские светодиоды, джамперы и прочие вспомогательные элементы. Аналоговые универсальные

входы АЦП в ПЛИС ADC1IN1-ADC1IN8 на плате Altera MAX 10 FPGA снабжены фильтрующими RC-цепочками, а также входными буферными элементами – операционными усилителями (ОУ) LM2902, включёнными в режиме повторителей напряжения. Цифровые линии GPIO, а также аналоговые универсальные входы ПЛИС выведены на плате на линейки соответствующих разъёмов.

На вход подачи внешнего опорного напряжения ADC_VREF поступает напряжение +2,5 В с выхода микросхемы ИОН MCP1525. Выделенный вход АЦП в ПЛИС ANAIN1 на отладочной плате не задействован (соединён с общим проводом через резистор нулевого сопротивления). Для использования входа ANAIN1 в проекте ПЛИС в плату необходимо внести небольшие доработки, о чём будет подробнее сказано далее.

Для исследования модуля АЦП в ПЛИС автором был собран макет, состоящий из платы Altera MAX 10 FPGA, подключённых к ней жидкокристаллического индикатора 12864ZW и линейки из шести кнопок управления. Индикатор в проекте ПЛИС работает в символьном режиме и позволяет отображать четыре строки по 16 символов в каждой. На свободном макетном поле платы Altera MAX 10 FPGA смонтирован электронный ключ на полевом транзисторе КП501А, нагруженный на звуковой излучатель электромагнитного типа. Данный узел используется в проекте ПЛИС для озвучивания нажатий на кнопки. Общий вид собранного макета представлен на рисунке 9.

Принципиальная схема собранного на базе платы Altera MAX 10 FPGA макета показана на рисунке 10. Для упрощения восприятия часть узлов и элементов, установленных производителем на

плате Altera MAX 10 FPGA, на рисунке не показана. Также на схеме не показаны цепи питания ПЛИС, фильтрующие конденсаторы на этих цепях и некоторые служебные сигналы ПЛИС, не имеющие принципиального значения для рассматриваемой темы. Элементы аналоговой части (ОУ повторителей напряжения, внешние входные аналоговые цепи универсальных входов ПЛИС) на схеме показаны только в части канала 7 АЦП для универсального входа ADC1IN7 (вывод 13 в ПЛИС). Позиционные обозначения элементов и наименования цепей отладочной платы на рисунке 10 соответствуют оригинальной документации производителя [1]. Позиционные обозначения дополнительных элементов макета, не входящих в состав отладочной платы (ЖКИ, кнопок, узла генерации звука), имеют свою собственную нумерацию.

Внешнее питание – постоянное напряжение +5 В – плата получает через разъём J1, имеющий форм-фактор mini-USB. Этот разъём предназначен только для подачи питания, поскольку его контакты цепей данных интерфейса USB (D+, D-) ни с чем на плате не соединены. Поступающее через разъём J1 напряжение +5 В понижается с помощью стабилизатора U1 до значения +3,3 В. Далее из напряжения +3,3 В вырабатываются: напряжение питания аналоговой части платы ПЛИС и аналоговой части платы VCCA_3.3V, напряжение питания ядра ПЛИС VCC_CORE, напряжения питания системы ввода-вывода ПЛИС и цифровой части платы VCC_IO.

Загрузка конфигурации в конфигурационную память и в саму ПЛИС осуществляется через разъём JTAG J10 с элементами его «обвязки».

Цепь аналогового общего провода на плате подводится к общему проводу аналоговых элементов платы: ОУ повторителей напряжения и элементов их «обвязки», ИОН, элементов внешних аналоговых цепей универсальных входов ПЛИС, аналоговому общему проводу ПЛИС, разъёму аналоговых сигналов J3. Цепь цифрового общего провода на плате подводится к общему проводу цифро-

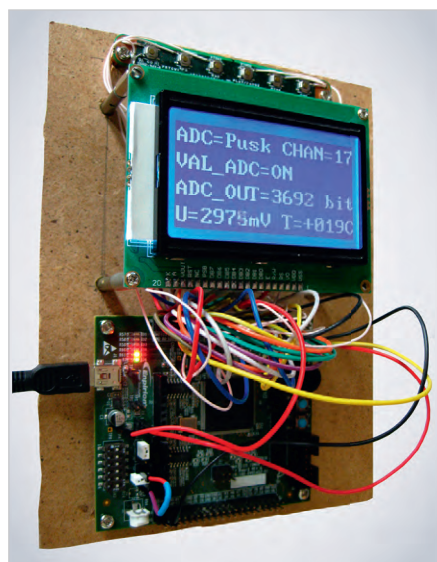


Рис. 9. Общий вид собранного макета с платой Altera MAX 10 FPGA



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

2021

100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ



ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки

- Модификация КД существующего изделия
- Разработка спецвычислителя на базе COM-модуля
- Конфигурирование модульного корпусированного изделия
- Сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика
- Разработка изделия с нуля



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Контрактная сборка электроники уровней: модуль / узел / блок / шкаф / комплекс

- ОКР, технологические консультации и согласования
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Полное комплектование производства импортными и отечественными компонентами и материалами
- Поддержание складов, своевременное анонсирование снятия с производства, подбор аналогов
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания по методикам и ТУ
- Гарантийный и постгарантийный сервис



Создание проекта ПЛИС

включающего в себя IP-ядро поддержки встроенного АЦП ПЛИС, имеет ряд специфических особенностей. Рассмотрим создание такого проекта по шагам.

рительно следует создать каталог проекта, который будет содержать все его исходные файлы. В нашем случае это файлы с исходным текстом на языке описания аппаратных средств Verilog HDL, имеющие расширение *.v. Один из этих файлов имеет имя MAX_10_ADC_1.v. Этот файл содержит модуль верхнего уровня проекта. Другие исходные файлы содержат модули более низкого уровня, реализующие взаимодействие модуля верхнего уровня с ЖКИ, кнопками управления, вывод из ПЛИС данных АЦП в последовательном виде, преобразование результата АЦП в значение температуры, генерацию звука. Все перечисленные исходные файлы можно создавать в любом тексто-

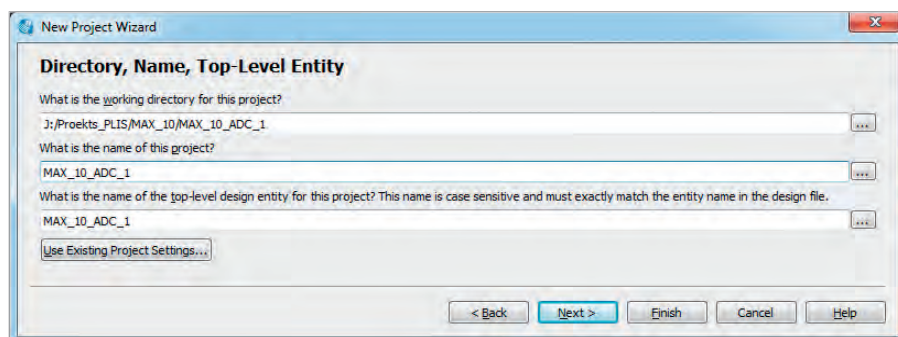


Рис. 11. Задание первичных параметров проекта ПЛИС

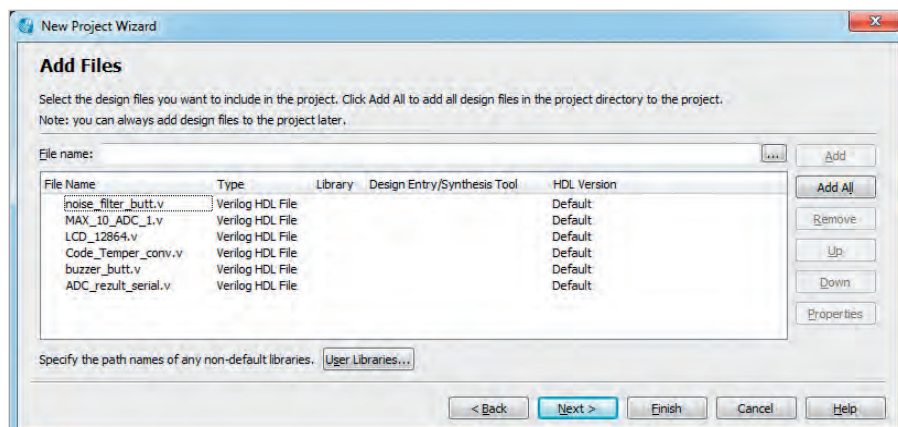


Рис. 12. Включение файлов в состав проекта ПЛИС

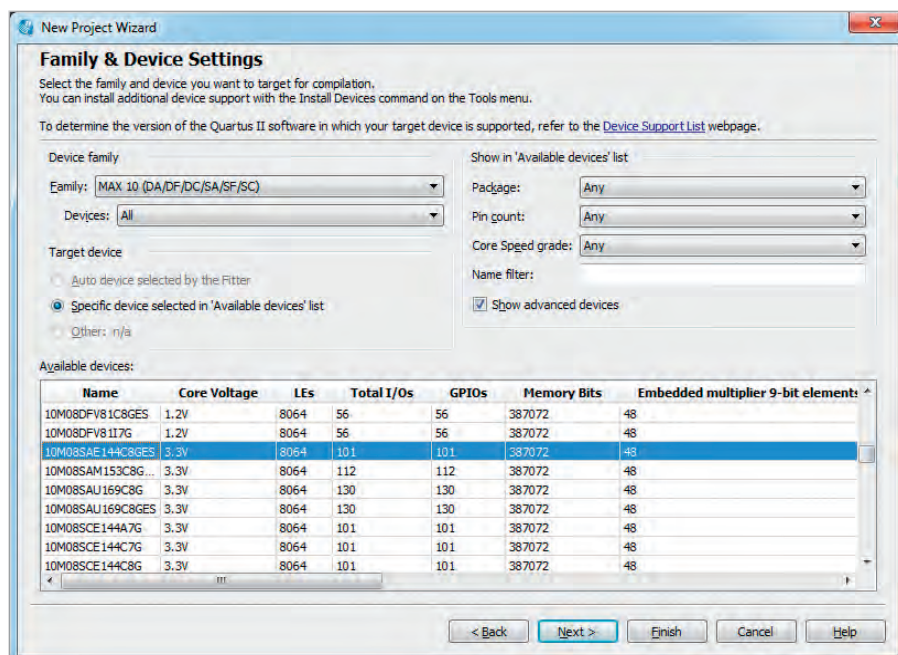


Рис. 13. Выбор ПЛИС для проекта

вом редакторе, однако удобнее делать это в среде Quartus II, имеющей цветовую подсветку синтаксиса исходных текстов на языках описания аппаратных средств Verilog HDL, VHDL и AHDL. Для создания нового исходного файла следует в главном меню среды Quartus II выбрать File → New..., после чего откроется окно New, в котором можно выбрать тип создаваемого файла.

Далее будет показан порядок включения всех созданных исходных файлов в состав проекта.

Следует нажать в окне New Project Wizard на кнопку Next. В открывшейся странице Project Type оставляем заданную по умолчанию настройку типа проекта Empty project и снова нажимаем на кнопку Next. В открывшейся странице Add Files производим включение соз-

данных ранее исходных файлов в состав проекта. Для этого нужно нажать на кнопку с многоточием (...) справа от позиции File name, затем в открывшемся окне каталогов и файлов выбрать нужный исходный файл и добавить этот файл в проект нажатием на кнопку Add. Имена и тип всех включённых в состав проекта файлов будут перечислены в окне странице Add Files, как показано на рисунке 12.

Далее необходимо задать аппаратную платформу для нашего проекта ПЛИС. Для этого в окне New Project Wizard нажимаем на кнопку Next, затем в открывшейся странице Family & Device Settings выбираем требуемое семейство ПЛИС (MAX 10) и конкретную модель ПЛИС в этом семействе (10M08SAE144C8GES), как показано на рисунке 13.

Теперь следует задать базовые настройки симуляции для нашего проекта ПЛИС. Для этого в окне New Project Wizard нажимаем на кнопку Next. В открывшейся странице EDA Tool Settings выбираем в строке Simulation в графе Tool Name инструмент симуляции ModelSim-Altera, а в графе Format(s) – язык симуляции Verilog HDL. Остальные настройки на странице оставляем заданными по умолчанию.

В заключение ещё раз в окне New Project Wizard нажимаем на кнопку Next, и на открывшейся странице Summary проверяем корректность всех заданных ранее настроек проекта. При отсутствии замечаний кликаем на кнопке Finish, после чего создание проекта считается завершённым. Созданный проект появляется во вкладке Hierarchy области навигации Project Navigator среды Quartus II, как показано на рисунке 14. Все входящие в проект файлы перечислены во вкладке Files области навигации Project Navigator.

Включение в проект ПЛИС модуля PLL

После создания проекта ПЛИС, перед включением в него модуля АЦП необходимо задать для него источник синхросигнала. Как было сказано в первой части статьи, в качестве синхросигнала для АЦП в ПЛИС семейства MAX10 производителем рекомендуется использовать выходной сигнал встроенной в ПЛИС системы PLL. Для реализации этой рекомендации необходимо включить в проект ПЛИС IP-ядро PLL. В составе ПЛИС 10M08SAE144C8G имеется только один аппаратный модуль PLL, его мы и задействуем. Для этого воспользуемся встроенным в среду Quartus II каталогом IP-ядер IP

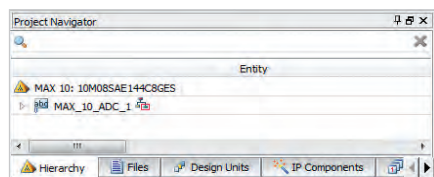


Рис. 14. Созданный в Quartus II проект ПЛИС

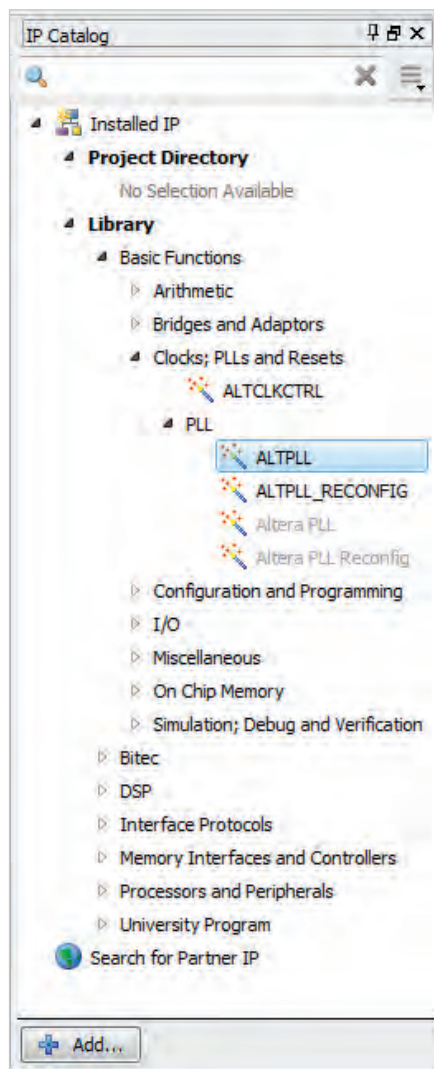


Рис. 15. Включение в состав проекта ПЛИС модуля PLL

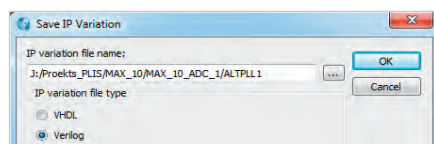


Рис. 16. Задание первичных параметров IP-ядра PLL

Catalog, выбрав в нём ALTPLL (см. рис. 15). После этого откроется окно задания первичных параметров IP-ядра PLL Save IP Variation, в котором необходимо указать путь к директории хранения исходного файла IP-ядра PLL внутри директории проекта ПЛИС, его имя (в нашем случае это ALTPLL1) и язык представления Verilog (см. рис. 16). После нажатия на кнопку ОК запускается инструменталь-

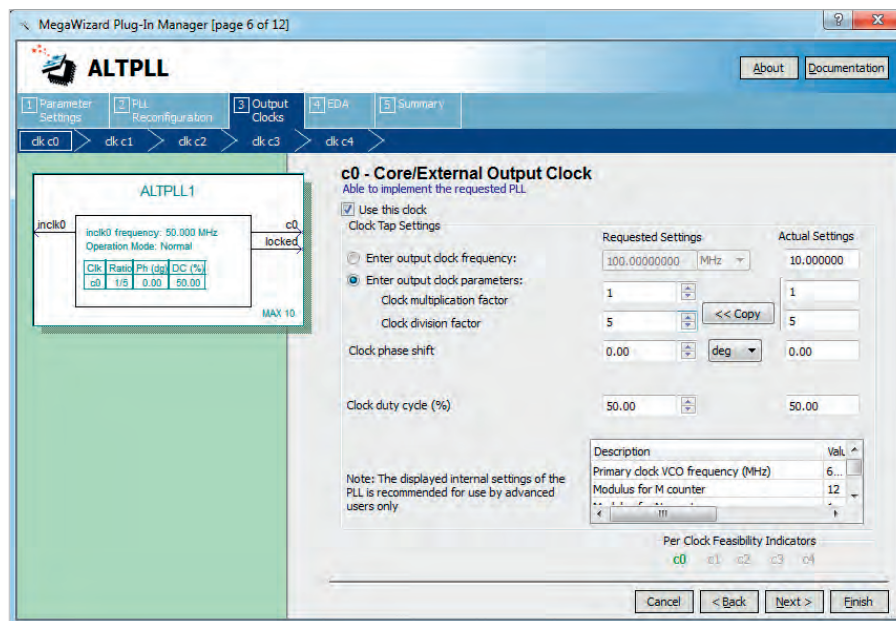


Рис. 17. Задание выходных параметров IP-ядра PLL

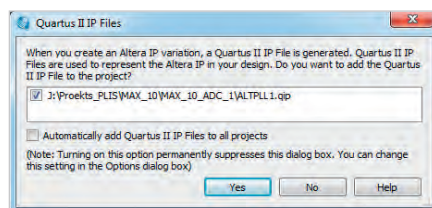


Рис. 18. Запрос на включение IP-ядра PLL в состав проекта ПЛИС

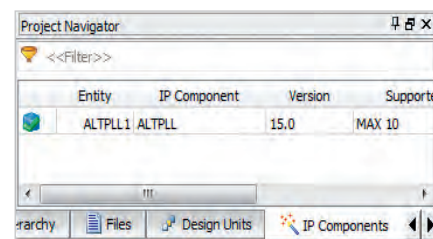


Рис. 19. IP-ядро PLL в составе проекта ПЛИС

ное средство среды Quartus II для редактирования IP-ядер MegaWizard Plug-In Manager, с помощью которого можно задать все параметры нашего модуля PLL. Открывшееся окно MegaWizard Plug-In Manager имеет несколько вкладок, на каждой из которых задаётся определённая группа параметров. В соответствии с рекомендациями производителя выбираем для синхронизации аппаратного модуля АЦП частоту 10 МГц, при том что частота нашего глобального синхросигнала (внешнего генератора на плате Altera MAX 10 FPGA) составляет 50 МГц. Таким образом, систему PLL необходимо сконфигурировать так, чтобы она обеспечивала деление входной частоты 50 МГц на 5 для получения выходной частоты 10 МГц, имела один выход c0, а также – выход записываемого ею устройства locked. Значение входной частоты PLL (50 МГц) и количества выходов PLL (один выход c0) необходимо задать на вкладке 1 Parameter Settings. Делитель PLL задается на вкладке 3 Output Clocks, как показано на рисунке 17.

Требуемая структурная схема IP-ядра PLL показана на рисунке 17 слева: один вход синхросигнала (incl0), один вход синхросигнала (c0), один выход

записываемого (locked). Все остальные параметры на прочих вкладках MegaWizard Plug-In Manager следует оставить заданными по умолчанию. Для последовательного перемещения по вкладкам при настройке параметров PLL следует использовать кнопки <Back, Next>.

По завершении конфигурирования PLL после нажатия на кнопку Finish открывается окно с запросом на включение сконфигурированного нами IP-ядра PLL (файл ALTPLL1.qip) в состав проекта, как показано на рисунке 18. Если согласиться с запросом на включение (кнопка Yes), то во вкладке Files области навигации Project Navigator проекта ПЛИС появятся файлы IP-ядра PLL (ALTPLL1.qip) и исходного кода модуля PLL (ALTPLL1.v), а во вкладке IP Components – позиция IP-ядра PLL, как показано на рисунке 19. Файл ALTPLL1.v содержит модуль на языке Verilog HDL с исходным кодом мегафункции ALTPLL. Имя и список входов и выходов этого модуля соответствуют ранее заданным параметрам PLL и выглядят, как показано в листинге 1.

Однако само по себе добавление IP-ядра PLL в проект ПЛИС автоматически не обеспечивает его использования в проекте. Для его использова-



ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭКБ

Преимущества:

- ✓ Безупречное качество всех выполняемых работ
- ✓ Конфиденциальность
- ✓ Независимая оценка
- ✓ Современное оборудование
- ✓ Квалифицированный инженерно-технический персонал

ВИДЫ РАБОТ

- Анализ применяемой ЭКБ, сбор и разработка технической документации
- 100% входной контроль и идентификация продукции
- 100% отбраковочные испытания
- 100% диагностический неразрушающий контроль
- Разработка программного обеспечения и методик сертификационных испытаний
- Климатические испытания
- Механические испытания
- Разработка и изготовление технологической оснастки

Реклама



+7 (495) 657-87-37



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



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

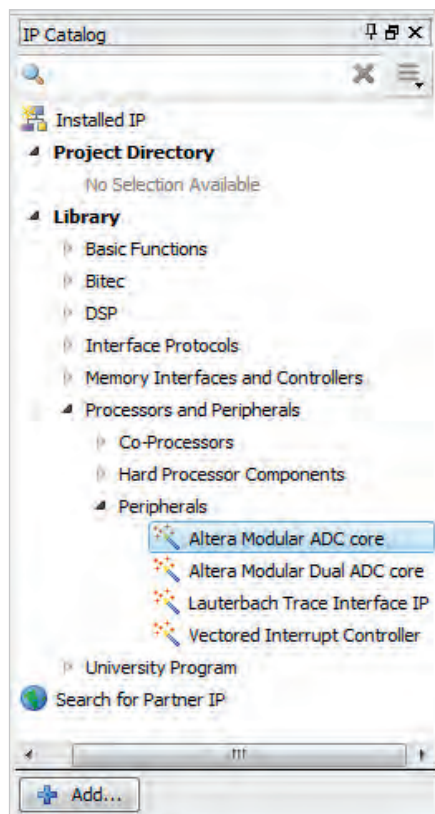


Рис. 20. Выбор IP-ядра модуля АЦП для включения в проект ПЛИС в среде Quartus II

Листинг 1

```
module ALTPLL1 (
    inclk0,
    c0,
    locked);
```

Листинг 2

```
ALTPLL1 ALTPLL_1 (
    .inclk0(sys_clk),
    .c0(clk_pll),
    .locked(locked_pll)
);
```

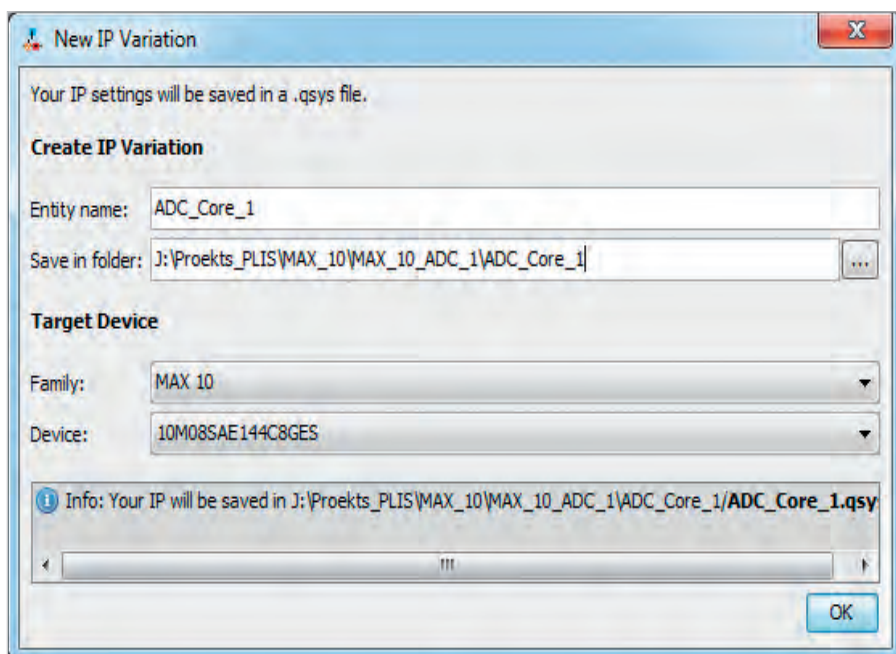


Рис. 21. Создание файла с расширением .qsys

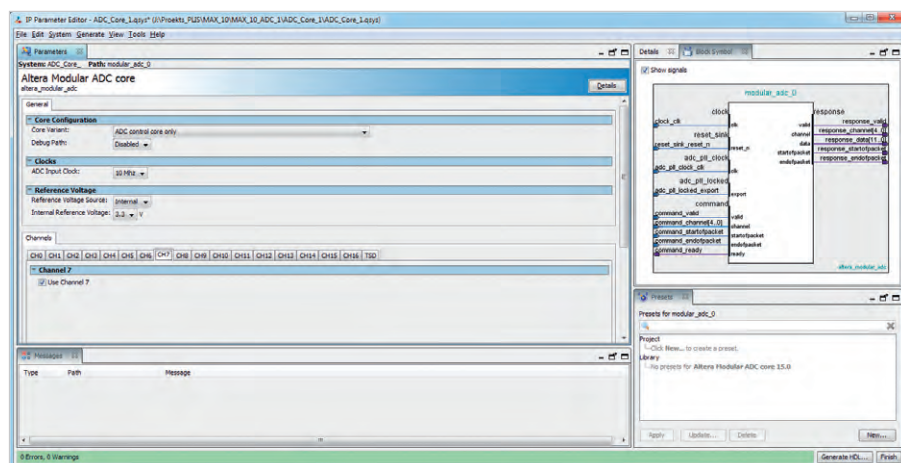


Рис. 22. Настройка параметров АЦП в редакторе IP-ядер IP Parameter Editor

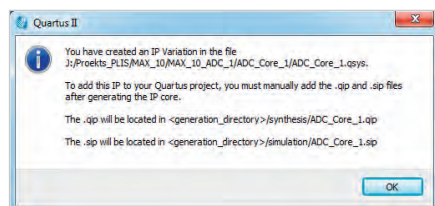


Рис. 23. Порядок действий по включению сгенерированного HDL-кода поддержки АЦП в проект ПЛИС

ния в состав исходного текста модуля верхнего уровня проекта ПЛИС (файл MAX_10_ADC_1.v) необходимо вручную включить фрагмент кода, устанавливающий связь между сигналами модуля

верхнего уровня проекта и модуля PLL (см. листинг 2). На листинге 2:

- ALT_PLL_1 – имя модуля нижнего уровня, используемого в модуле верхнего уровня (это имя можно задать произвольно);
- sys_clk – частота глобального синхросигнала, поступающего на вход PLL в проекте ПЛИС (50 МГц);
- clk_pll – выходная частота PLL, которая в дальнейшем будет использоваться для синхронизации модуля АЦП в проекте ПЛИС (10 МГц);
- locked_pll – сигнал запирающего модуля АЦП, поступающий в него из модуля PLL.

На этом добавление IP-ядра PLL в проект ПЛИС можно считать завершённым.

Включение в проект ПЛИС модуля АЦП

Включение модуля АЦП в проект ПЛИС в среде Quartus II также осуществляется через каталог IP-ядер IP Catalog, как показано на рисунке 20. В каталоге IP Catalog выбирается одинарное или двойное IP-ядро АЦП в соответствии с тем, сколько аппаратных модулей АЦП содержит используемая в проекте ПЛИС и сколько их требуется пользователю. В нашем случае выбираем одинарное IP-ядро Altera Modular ADC core. После выбора нужного IP-ядра пользователю будет предложено задать местонахождение и имя файла с расширением .qsys, содержащего настройки модуля АЦП в проекте ПЛИС (см. рис. 21). В нашем случае задаём имя файла ADC_Core_1 (имя можно выбрать произвольно), указываем путь к нему в пределах каталога нашего проекта ПЛИС и нажимаем на кнопку ОК, после чего автоматически запускается редактор IP-ядер IP Parameter Editor. В открывшемся окне настроек модуля АЦП, в редакторе IP Parameter Editor (см. рис. 22) задаём все необходимые параметры модуля АЦП:

- вариант IP-ядра Core Variant (в нашем случае – вариант ядра только с управлением АЦП без функций упорядочения и автосохранения оцифрованных выборок – ADC Control core only);
- наличие отладочных путей Debug Path (отсутствуют – Disabled);
- значение частоты входного синхросигнала АЦП ADC Input Clock (10 МГц);
- источник опорного напряжения АЦП Reference Voltage Source (внутренний ИОН АЦП ПЛИС – Internal);
- значение напряжения внутреннего ИОН Internal Reference Voltage (3,3 В).

Далее в разделе Channels задаём, какие каналы АЦП (выделенные, универсальные, встроенный температурный датчик TSD) будут включены, при необходимости задаём функцию входного делителя напряжения для тех каналов, которые её поддерживают. Задав все требуемые параметры АЦП, нажимаем на кнопку Generate HDL. После этого откроется окно задания начальных условий генерации HDL-кода: языка (выбираем Verilog), наличия модели для симуляции (выбираем None) и пути к выходным файлам HDL-кода (задаём директорию ADC_Core_1, находящуюся внутри директории нашего проекта ПЛИС). После задания всех перечисленных условий нажимаем на кнопку Generate и запускаем процесс генерации в открывшемся окне Generate. После корректного завершения генерации HDL-кода в этом окне выдаётся соответствующее сообщение: «Generate: completed successfully». Нажатие на кнопку Close приводит к открыванию окна с инструкциями по включению сгенерированного HDL-кода в наш проект ПЛИС (см. рис. 23). Согласно порядку действий, указанному в инструкции, необходимо вручную включить в состав проекта ПЛИС созданный на этапе генерации файл ADC_Core_1.qip, путь к которому показан на рисунке 23. Для этого во вкладке Files области навигации Project Navigator проекта ПЛИС нажатиями сначала правой, а потом левой кнопки мыши активируем команду добавления/удаления файлов из проекта ПЛИС Add/Remove Files in project. С помощью указанной команды добавляем в проект файл ADC_Core_1.qip, после чего во вкладке Files области навигации Project Navigator нашего проекта ПЛИС появляются файл ADC_Core_1.qip и несколько производных от него исходных файлов более низкого уровня иерархии (см. рис. 24). Каждый из этих файлов содержит исходный код, реа-

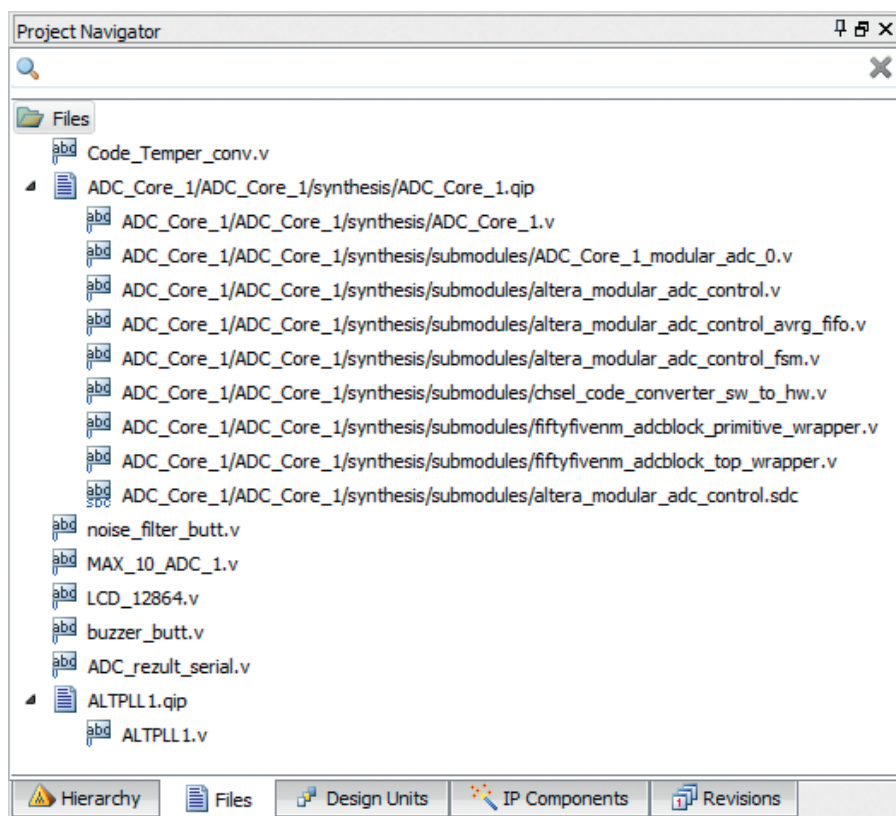


Рис. 24. Добавленные в проект ПЛИС исходные файлы IP-ядра АЦП

Листинг 3

```
module ADC_Core_1 (
    input wire      adc_pll_clock_clk,      // adc_pll_clock.clk
    input wire      adc_pll_locked_export, // adc_pll_locked.export
    input wire      clock_clk,              // clock.clk
    input wire      command_valid,          // command.valid
    input wire [4:0] command_channel,       // .channel
    input wire      command_startofpacket, // .startofpacket
    input wire      command_endofpacket,   // .endofpacket
    output wire     command_ready,         // .ready
    input wire      reset_sink_reset_n,    // reset_sink.reset_n
    output wire     response_valid,        // response.valid
    output wire [4:0] response_channel,    // .channel
    output wire [11:0] response_data,      // .data
    output wire     response_startofpacket, // .startofpacket
    output wire     response_endofpacket,  // .endofpacket
);
```

лизирующий обслуживание какой-либо функции аппаратного модуля АЦП: взаимодействие модуля АЦП с шиной или с памятью, перекодировку результата АЦП и т.п. Нас среди этих файлов интересует только один – файл ADC_Core_1.v, содержащий модуль верхнего уровня IP-ядра АЦП. Имя и список входов и выходов этого модуля соответствуют ранее заданным нами параметрам АЦП (см. листинг 3).

Как и в случае с PLL, само по себе добавление IP-ядра АЦП в проект ПЛИС автоматически не обеспечивает его использование в проекте. Для его использования в исходный текст модуля верхнего уровня проекта ПЛИС (файл MAX_10_ADC_1.v) необходимо вручную включить фрагмент кода, устанавливающий связь между сигналами

модуля верхнего уровня проекта и модуля АЦП (см. листинг 4).

После включения в проект ПЛИС модуля АЦП во вкладке IP Components области навигации Project Navigator проекта ПЛИС появится позиция IP-ядра АЦП (см. рис. 25). На этом добавление IP-ядра модуля АЦП в проект ПЛИС можно считать завершённым.

Теперь можно запустить компиляцию проекта ПЛИС с АЦП, выбрав в главном меню Quartus II Processing → Start Compilation. В результате корректного завершения компиляции проекта ПЛИС вид открытых окон в среде Quartus II будет примерно соответствовать рисунку 26.

В нижней части окна (в окне сообщений Messages) должна содержаться итоговая информация об отсутствии ошибок компиляции (0 errors). В автома-

Листинг 4

```
// Модуль АЦП верхнего уровня
ADC_Core_1 ADC_Core_Core_1(
    .adc_pll_clock_clk(clk_pll), // вход синхросигнала АЦП
    .adc_pll_locked_export(locked_pll), // вход запирающего PLL, поступающий с соответствующего выхода PLL
    .clock_clk(sys_clk), // вход глобального синхросигнала
    .command_valid(command_valid_ADC), // вход валидности команды (активный уровень высокий)
    .command_channel(command_channel_ADC), // входы задания канала - пятиразрядное слово [4:0]
    .command_startofpacket(command_startofpacket_ADC), // вход разрешения преобразований (активный уровень высокий)
    .command_endofpacket(command_endofpacket_ADC), // вход запрещения преобразований (активный уровень высокий)
    .command_ready(command_ready_ADC), // выход готовности результата преобразования (активный уровень высокий)
    .reset_sink_reset_n(sys_rst_n), // вход сброса модуля АЦП (активный уровень низкий)
    .response_valid(response_valid_ADC), // выход возврата сигнала валидности (активный уровень высокий)
    .response_channel(response_channel_ADC), // выходы возврата входов задания канала - пятиразрядное слово [4:0]
    .response_data(dout_ADC), // выходы возврата данных преобразования - двенадцатизрядное слово [11:0]
    .response_startofpacket(response_startofpacket_ADC), // выход возврата сигнала разрешения преобразований (активный уровень высокий)
    .response_endofpacket(response_endofpacket_ADC) // выход возврата сигнала запрещения преобразований (активный уровень высокий)
);
```

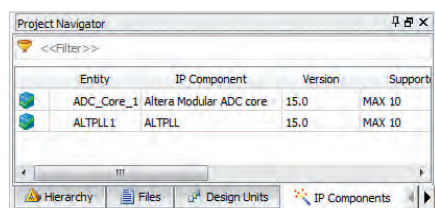


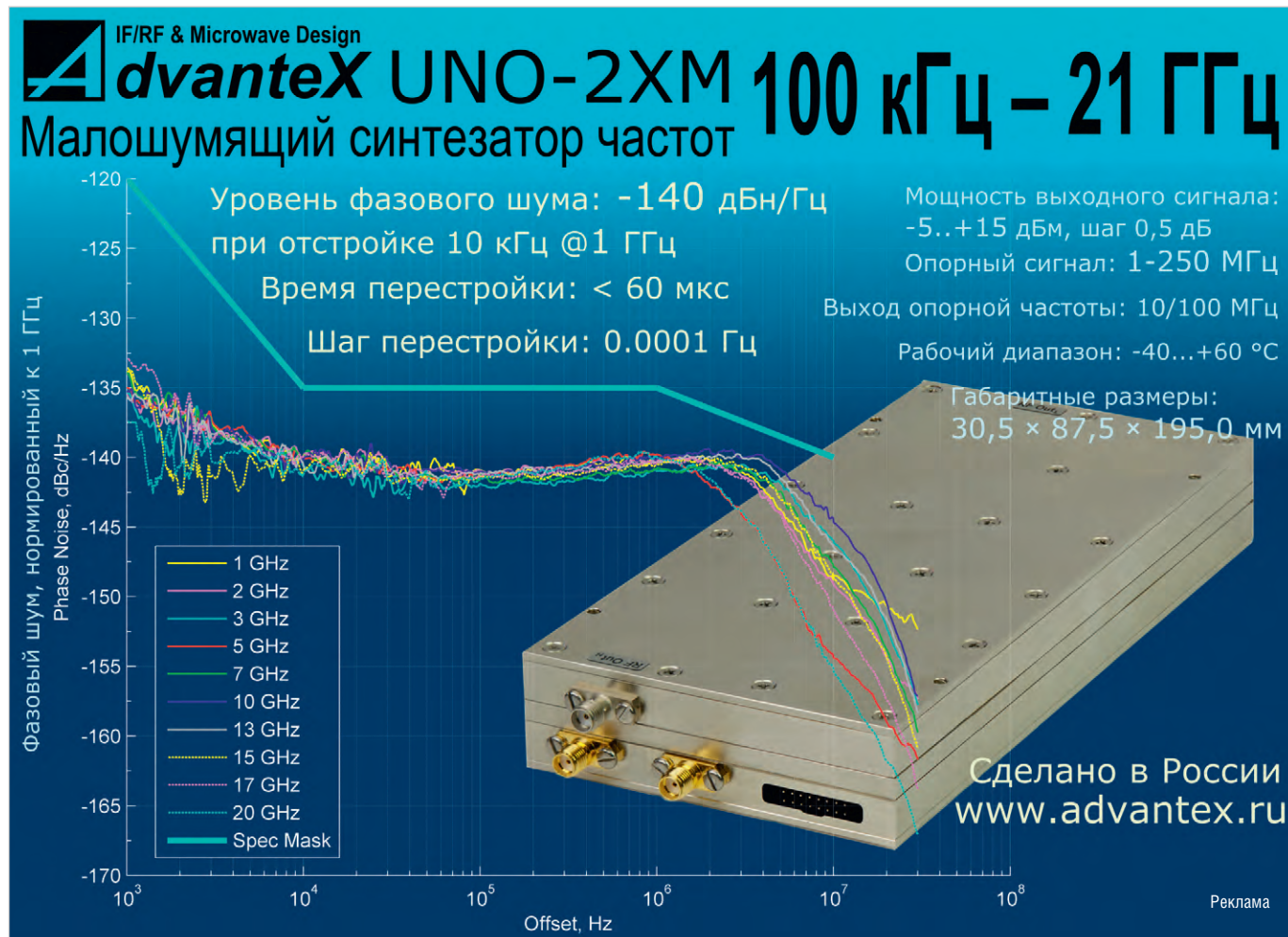
Рис. 25. IP-ядра PLL и АЦП в составе проекта ПЛИС

тически открывшемся окне Compilation Report отображается информация о задействованных в проекте ресурсах ПЛИС в абсолютном и процентном

отношениях. Как можно видеть из содержания Compilation Report, в нашем проекте ПЛИС задействованы все имеющиеся в этой ПЛИС модули PLL и ADC (100%).

Далее работа с проектом ПЛИС с АЦП не отличается от работы с любым другим проектом ПЛИС без АЦП. В частности, необходимо определить для всех цифровых линий ввода/вывода модуля верхнего уровня проекта соответствующие им выводы ПЛИС. Для этого в главном меню Quartus II нужно выбрать Assignments → Pin Planner и в открывшемся одноименном окне

задать для каждой линии ввода/вывода вывод ПЛИС в соответствии с принципиальной схемой макета (см. рис. 10). Кроме этого, для всех линий необходимо задать в столбце I/O Standard значение «3.3-V LVTTL», а в столбце Current Strength – значение «8mA(default)». Все остальные параметры задействованных в проекте выводов ПЛИС можно оставить заданными по умолчанию. Необходимо заметить, что таким образом определяются только цифровые линии проекта. Разрешение для использования выделенных и универсальных ана-



логовых входов АЦП в ПЛИС нами уже было выполнено ранее, при настройке IP-ядра АЦП в разделе Channels редактора Parameter Editor (см. рис. 22).

Далее необходимо включить на цифровых входах ПЛИС, используемых в нашем макете для подключения к плюсу питания резисторы. Для этого в главном меню Quartus II нужно выбрать Assignments → Assignments Editor и в открывшемся одноименном окне добавить к имеющимся там позициям ещё шесть позиций: key[5]–key[0] для каждого входа подключения кнопок (см. рис. 27). В столбце Assignment Name каждой из этих позиций необходимо задать значение «Weak Pull-Up Resistor», а в столбце Value – значение «On», как показано на рисунке.

После всех перечисленных действий следует ещё раз откомпилировать проект ПЛИС, чтобы учесть в создаваемой конфигурации все сделанные изменения. В результате корректной компиляции будет сгенерирован файл, который подлежит записи в конфигурационную память ПЛИС.

Запись конфигурации в ПЛИС

Выходной файл конфигурации откомпилированного проекта ПЛИС должен быть записан в специальную энергонезависимую конфигурационную память, которая, как правило, представляет собой отдельную микросхему. Физически эту микросхему следует располагать непосредственно рядом с ПЛИС и подсоединять к ней через специальный цифровой интерфейс. Сразу после подачи питания на ПЛИС и микросхему конфигурационной памяти в целевом устройстве производится автоматическая загрузка конфигурации из памяти в ПЛИС, после чего сконфигурированная ПЛИС начинает функционировать. Возможно также состояние, когда в саму ПЛИС конфигурация загружена, а её конфигурационная память пуста. В этом случае конфигурация в ПЛИС загружается сторонними средствами и сохраняется только до тех пор, пока на неё подано питание.

Все ПЛИС семейства MAX 10 не требуют наличия внешней памяти, поскольку содержат встроенную энергонезависимую конфигурационную память. В связи с этим запись конфигурации в конфигурационную память ПЛИС MAX 10 имеет некоторую специфику.

Программную поддержку записи конфигурации в конфигурационную память и в саму ПЛИС семейства MAX 10

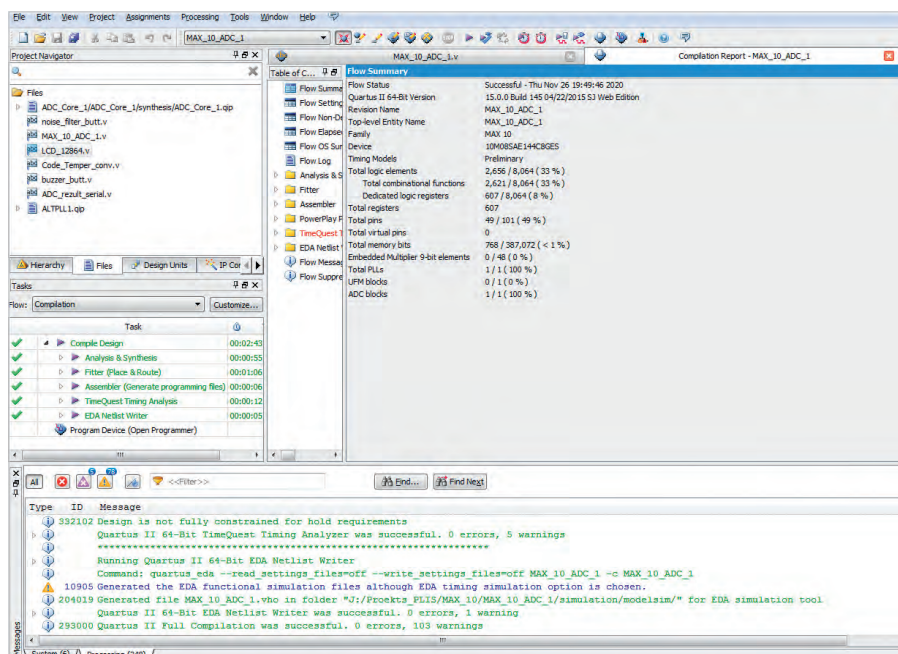


Рис. 26. Корректное завершение компиляции проекта ПЛИС

	tatu	From	To	Assignment Name	Value	Enabled	Entity	Comment
90	✓		OUT led_2	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
91	✓		OUT led_1	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
92	✓		OUT ck_OUT_ADC	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
93	✓		IN key[5]	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
94	✓		IN key[4]	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
95	✓		IN key[3]	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
96	✓		IN key[2]	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
97	✓		IN key[1]	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
98	✓		IN key[0]	I/O Standard	3.3-V LVTTTL	Yes	MAX_10_ADC_1	
99	✓		IN key[5]	Weak Pull-Up Resistor	On	Yes	MAX_10_ADC_1	
100	✓		IN key[4]	Weak Pull-Up Resistor	On	Yes	MAX_10_ADC_1	
101	✓		IN key[3]	Weak Pull-Up Resistor	On	Yes	MAX_10_ADC_1	
102	✓		IN key[2]	Weak Pull-Up Resistor	On	Yes	MAX_10_ADC_1	
103	✓		IN key[1]	Weak Pull-Up Resistor	On	Yes	MAX_10_ADC_1	
104	✓		IN key[0]	Weak Pull-Up Resistor	On	Yes	MAX_10_ADC_1	
105		<<NEW>>	<<NEW>>	<<NEW>>				

Рис. 27. Разрешение внутренних подтягивающих резисторов на входах ПЛИС

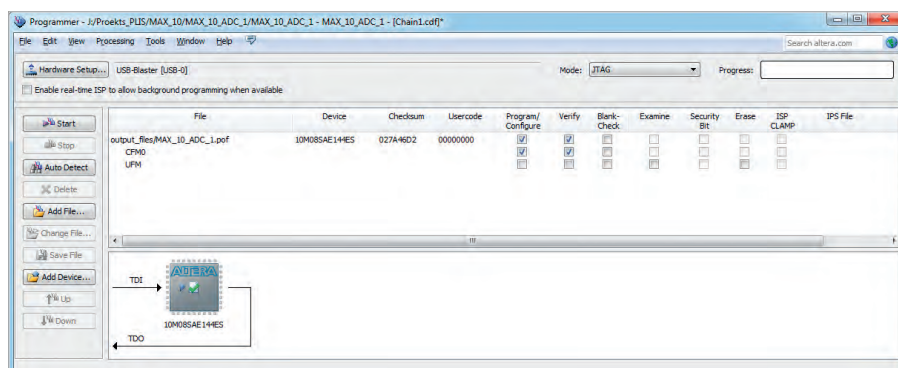


Рис. 28. Загрузка конфигурации в ПЛИС MAX 10

обеспечивает встроенный в среду Quartus II инструмент программирования (Programmer), запустить который можно, выбрав в главном меню Tools → Programmer. В открывшемся одноименном окне необходимо задать настройки, показанные на рисунке 28.

Физически запись в конфигурационную память и в ПЛИС производится с помощью аппаратного программатора USB-Blaster [2]. Автор использовал один

из недорогих клонов этого устройства китайского производства, которые во множестве доступны на рынке. Программатор USB-Blaster следует подключить к ПК через порт USB, а также подключить к целевой ПЛИС через интерфейс JTAG (разъем J10 на плате Altera MAX 10 FPGA). Подключение к ПК необходимо выполнить до запуска инструмента программирования Programmer среды Quartus II. На целевую ПЛИС (отладочную пла-



ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

Полосковые дисплеи для транспорта

- ЖК-дисплеи серии SPANPIXEL™ с яркостью до 3000 кд/м²
- Размеры по диагонали от 6,2 до 65"
- Разрешение до 4K2K
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) –30...+85°C
- Возможна разработка под заказ
- Ресурс до 100 000 часов

ProCHIP
POWERED BY ProSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



Реклама

ту) до её загрузки должно быть подано питающее напряжение.

После запуска инструмента программирования Programmer он должен автоматически распознать подключённый к ПК аппаратный программатор USB-Blaster (в левом верхнем углу окна Programmer справа от кнопки Hardware Setup должна появиться надпись USB-Blaster [USB-0]), как показано на рисунке 28. В случае, если автоматического распознавания не произошло (присутствует надпись «No Hardware»), необхо-

димо в окне Programmer кликнуть на кнопке Hardware Setup и в открывшемся окне вручную задать для программирования подключённый к ПК аппаратный программатор – выбрать из всплывающего меню в поле Currently selected hardware позицию USB-Blaster [USB-0]. Дополнительная информация по вопросам подключения программатора к ПК содержится в [2].

Подготовив таким образом систему к записи, необходимо задать файл конфигурации для записи в конфигу-

рационную память и в ПЛИС. Для этого в окне Programmer нужно нажать на кнопку Add File... и в открывшемся окне выбрать требуемый файл. В нашем случае указанный файл по умолчанию находится в подкаталоге output_files и имеет имя MAX_10_ADC_1.pof. После его выбора в столбце Device верхней части окна Programmer появится обозначение целевой ПЛИС (10M08SAE144ES), далее отображаются аббревиатуры областей памяти, доступных для загрузки в ПЛИС: встроенная конфигурационная флеш-память (CFM), встроенная пользовательская флеш-память (UFM). Необходимо поставить галочки в соответствующих пунктах столбцов Program/Configure и Verify, как показано на рисунке 28. Показанное на рисунке расположение галочек означает, что запись конфигурационного файла MAX_10_ADC_1.pof будет произведена как в саму ПЛИС, так и в её встроенную конфигурационную флеш-память, а после окончания записи будет произведена верификация – проверка соответствия содержимого ПЛИС и содержимого памяти CFM содержимому файла. Пользовательская флеш-память UFM в нашем проекте ПЛИС не задействована.

Иногда требуется записать конфигурацию только в ПЛИС, не затрагивая её встроенную конфигурационную память, например при отладке проекта ПЛИС в целях экономии ресурса циклов стирания-записи памяти CFM. В этом случае в качестве файла конфигурации следует выбрать файл с расширением *.sof. Такой файл (MAX_10_ADC_1.sof) также по умолчанию создаётся в подкаталоге output_files нашего проекта ПЛИС. При выборе этого файла загрузка в CFM и UFM становится недоступной.

Для запуска процесса записи с заданными параметрами необходимо нажать на кнопку Start. При заданных на рисунке 28 параметрах запись вместе с верификацией выполняется достаточно долго – несколько минут. Ход и результаты процесса записи отображаются в виде нарастающей шкалы в области Progress окна Programmer.

Литература

1. URL: https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/products/boards_and_kits/dev-kits/altera/kit-max-10-evaluation.html.
2. USB-Blaster Download Cable User Guide. UG-USB81204 2015.05.04. URL: https://www.intel.com/content/dam/altera-www/global/en_US/pdfs/literature/ug/archives/ug-usb-blstr-15.0.pdf.





ЧИТАЙТЕ КАК ВАМ УДОБНО



ПЕЧАТНУЮ

ПОДПИСКА С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

ИЛИ ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА

**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)

Расчёт величин MTBF для гибридных интегральных схем с использованием редакций военного справочника MIL-HDBK-217F, Notice 1 и 2

Ричард Миллер

Перевод: Жданкин Виктор

Изменения в модель для оценки интенсивности отказов изделий, выполненных по гибридной технологии, включённые в редакцию Revision F военного справочника MIL-HDBK-217 Military Handbook. Reliability Prediction of Electronic Equipment, привели к значительному уменьшению рассчитанных значений среднего времени наработки между отказами (Mean Time Between Failures — MTBF) по сравнению с редакцией Rev E. Специалистами компании International Rectifier было проведено исследование причин, вызвавших это снижение численных показателей надёжности. Расчёты величины MTBF на основе этих моделей дают результаты, которые не согласуются с результатами, основанными на моделях, представленных в редакции Revision E военного справочника MIL-HDBK-217. Для пояснения этого различия представлены величины MTBF, рассчитанные для DC/DC-преобразователя ART28515T (International Rectifier HiRel) с использованием редакции справочника MIL-HDBK-217F Notice (извещение) 2 и MIL-HDBK-217E. Кроме того, представленные вычисления включают применение различных поправок к коэффициентам в модель гибридных интегральных схем. Величины MTBF, полученные в результате каждого из этих расчётов, обобщены для сравнения в таблице I. Для обзора представлены поправки, использованные в этих расчётах, и исследование, обосновывающее их использование в модели элемента справочника MIL-HDBK-217F. Статья является авторским переводом документа [1].

Возможно, статья будет полезна для расчётной оценки надёжности аппаратуры специалистам службы надёжности предприятий, применяющих наряду с отечественными электронными компонентами компоненты американского производства, характеристики надёж-

ности которых приводятся в справочнике MIL-HDBK-217F.

Уровень надёжности преобразователей напряжения в значительной степени определяет и надёжность аппаратуры в целом. Оценка надёжности преобразователей напряжения проводится расчётными методами, основанными на математических моделях эксплуатационной интенсивности отказов. Определение численного показателя надёжности — среднего времени наработки до отказа (Mean Time Between Failure — MTBF) — выполняется по типовому стандарту расчёта надёжности MIL-HDBK-2017F2 Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment. Последняя редакция справочника датируется 1995 годом, после этой даты табличные значения справочника больше не обновлялись. Принятые интенсивности отказов некоторых компонентов не соответствуют текущим реальным значениям. Например, справочник указывает очень высокую интенсивность отказов интегральных микросхем. Для оценки надёжности изделий, предназначенных для военных и специальных применений, в справочнике используется база данных на компоненты военного назначения. Документ допускает два метода расчёта среднего времени наработки на отказ компонентов.

Первый метод известен как Parts Count Method и второй метод как Parts Stress Analysis Method. Для расчёта MTBF с использованием второго метода обычно используются данные из отчёта Electrical/Thermal Stress and Derating Analysis Report (Отчёт по анализу электрической/температурной нагрузки и ограничений допустимых условий эксплуатации). Этот метод даёт более реалистичную величину, потому что прогнозирование интенсивности отказов каждого элемента основано на реальном использовании этого элемента в системе. Метод Parts Count Method

просто допускает одинаковую интенсивность отказов для каждого типа элемента независимо от условий его применения.

Выполнение метода прогнозирования надёжности по коэффициентам загрузки (Part Stress Analysis) предполагает, что радиоэлектронная аппаратура работает при нормальных условиях. Этот метод имеет несколько преимуществ перед методом количественного анализа (Total Parts Count), который предполагает наличие самой минимальной информации, такой как общее количество элементов, уровень их качества и условия среды их эксплуатации.

Основным преимуществом метода прогнозирования надёжности по коэффициентам загрузки элементов в конкретной схеме (Part Stress Analysis) является то, что он учитывает значения коэффициентов загрузки элемента для расчёта отдельных интенсивностей отказов. В этом методе вычисленные интенсивности отказов для каждого элемента складываются вместе для вычисления общей интенсивности отказа устройства. Отдельные интенсивности отказов зависят от следующих параметров: значения коэффициента загрузки элемента, категории качества, температуры, условий окружающей среды и значения интенсивности отказа элемента из базы данных. Основным недостатком этого метода является то, что элементы схемы, которые включены в конструкцию для резервирования, имеют противоположное воздействие на MTBF. На самом деле, правильно спроектированное резервирование будет иметь положительное влияние на общую надёжность системы.

Мощность рассеяния и коэффициент загрузки элемента при наихудшем случае используются для вычисления повышения температуры кристалла по отношению к температуре корпуса (перегрев). Использование повы-

шенной температуры кристалла по сравнению с температурой корпуса (перегрев), когда определяются эксплуатационные интенсивности отказов элементов, превосходит требования стандарта MIL-HDBK-217F. Зона температурного максимума кристалла и процентные соотношения загрузки приводятся в документе Thermal/Electrical Stress Analysis (Анализ температурной и электрической нагрузки). Анализ (расчёт), который сформирован вычислениями загрузки компонента, являлся расчётом предельного значения.

Основные концепции надёжности источников питания подробно рассматриваются, например, в работах [2, 3]. Объясняются различия в численных показателях надёжности, публикуемых различными изготовителями источников питания и приводятся примеры корректного использования информации о надёжности.

Далее, собственно, представлены компоненты, влияние которых на расчёт надёжности гибридных интегральных схем было пересмотрено в последней редакции американского военного справочника MIL-HDBK-217F.

1. Резисторы. Первоначально включённый в редакцию справочника MIL-HDBK-217E алгоритм для расчёта интенсивности отказов резисторов, размещённых на керамической подложке интегральных схем (ИС), выполненных по толстоплёночной гибридной технологии, был исключён из издания справочника MIL-HDBK-217F. Так как резисторы являются составляющей интегральной частью гибридной подложки и, как правило, более надёжны, чем установленная надёжность (Established Reliability) типов, используемых в негибридных схемах, считается, что они имеют незначительное влияние на суммарную интенсивность отказов, и поэтому их исключение можно считать обоснованным. Модель для гибридных интегральных схем справочника MIL-HDBK-217F рекомендует, чтобы резисторы не учитывались, за исключением тех случаев, когда гибридная интегральная схема сконструирована в основном из пассивных компонентов. Применительно к DC/DC-преобразователям можно согласиться этими с оценками. Включение резистивных элементов в расчёт MTBF имеет

Сравнение расчётов интенсивности отказов для преобразователя напряжения ART28515T

Номер варианта	Условия применения, предположения и несоответствия (условия космического полёта (Space Flight – SF), температура корпуса = +45°C, $V_{\text{ход}} = 28 \text{ В}$)	Интенсивность отказов (отказы/106 ч)	MTBF, (ч)
1	MIL-HDBK-217E Периметр герметизации = 8,75" Площадь = 1,742 дюйм ² Биметаллическое соединение = 155 Резисторы = 62	0,191775	5 214 439
2	MIL-HDBK-217F Notice 2 $\pi_r = 1,0$ – для электромагнитных компонентов $\pi_c = 5,8$ – все другие компоненты $\pi_Q = 0,03$ – для конденсаторов CDR	0,189660	5 272 594
3	MIL-HDBK-217F Notice 2 $\pi_r = 5,8$ – все компоненты, включая электромагнитные $\pi_Q = 0,03$ – для конденсаторов CDR	0,353735	2 826 973
4	MIL-HDBK-217F Notice 2 $\pi_r = 1,0$ – для электромагнитных компонентов $\pi_c = 21$ – для силовых полупроводников $\pi_r = 5,8$ – для других компонентов $\pi_Q = 0,03$ – для конденсаторов CDR	0,355031	2 816 651
5	MIL-HDBK-217F Notice 2 $\pi_c = 21$ – для всех компонентов (включая электромагнитные) $\pi_Q = 0,03$ – для конденсаторов CDR	1,28077	780 783

незначительное влияние на вычисленную величину.

2. Конденсаторы. Модель гибридной интегральной схемы, представленная в редакции справочника MIL-HDBK-217F, предполагает коэффициент (π_Q), характеризующий систему контроля качества, равным 1 для каждого компонента, и, кроме того, к гибридным интегральным схемам с уровнем качества Class K (наивысший уровень качества Space, установленный в технических условиях MIL-PRF-38534) применяется общий коэффициент π_Q , равный 0,25. Большая часть многослойных керамических конденсаторов (тип CDR, производство Vishay), используемых в преобразователях серии ART, приобретаются с уровнем надёжности S. Для этого типа конденсаторов в справочнике MIL-HDBK-217F для коэффициента π_Q установлено значение 0,03, что составляет 1/8,3 от разрешённого для использования в гибридных интегральных схемах значения π_Q 0,25. Специалисты IR полагают, что отсутствует обоснование для применения санкций к интенсивности отказов таких конденсаторов повышением коэффициента качества π_Q в 8,3 раза, только потому, что они применяются в гибридных интегральных схемах. Заметим, что повышение коэффициента качества (π_Q) означает уменьшение ве-

личины MTBF. Как отмечено в представленной таблице, для того чтобы обойти эту проблему к интенсивности отказов всех конденсаторов типа CDR был применён поправочный коэффициент $0,03/0,25 = 0,12$. В первоначальном справочном листке технических данных преобразователя ART28515T была указана величина MTBF, рассчитанная по изданию справочника MIL-HDBK-217F Notice 1. Обширные исправления были сделаны в издании MIL-HDBK-217F Notice 2 для упрощения определения интенсивности отказов конденсаторов. Эти исправления утроили расчётную интенсивность отказов многослойных керамических конденсаторов типа CDR. Только это изменение снизило величину MTBF на 30%, если сравнивать редакции Notice 1 и Notice 2 справочника MIL-HDBK-217F.

3. Электромагнитные компоненты. Все электромагнитные компоненты, используемые в гибридно-плёночных DC/DC-преобразователях компании IR HiRel, созданы из материалов, рассчитанных для работы при температуре +200°C или выше. Снижение номинальных параметров согласно требованиям стандарта MIL-STD-975 ограничивает рабочую температуру до +150°C. Силовой трансформатор модуля преобразователя напряжения ART28515T имеет измеренный пе-

регрев менее чем $+33^{\circ}\text{C}$ относительно температуры корпуса (в то время как измеренная температура корпуса около $+100^{\circ}\text{C}$). Все другие индуктивные элементы нагреваются выше температуры корпуса на $5-15^{\circ}\text{C}$. Случаи отказов в процессе эксплуатации DC/DC-преобразователей серии ART, вызванные электромагнитными компонентами, неизвестны. Модель для гибридных интегральных схем, созданная по методике справочника 217F, была разработана без учёта электромагнитных/индуктивных компонентов и предполагает, что они не будут учтены, если схема состоит главным образом из пассивных компонентов. Следовательно, в справочном листке технических данных серии ART величина MTBF была рассчитана согласно 217F Notice 1, без учёта вклада электромагнитных элементов. В настоящее время специалисты IR полагают, что все магнитные компоненты должны быть учтены в расчёте, но не должны быть обременены дополнительным функциональным коэффициентом π_f . Как отмечено в таблице, поправочный коэффициент $1/\pi_f$ был применён к интенсивности отказов индуктивных компонентов, чтобы получить действительные значения коэффициента $\pi_f = 1$.

4. Комплексный функциональный коэффициент π_f , учитывающий дополнительные влияния, вызванные взаимодействием компонентов. Данные, используемые для формирования модели гибридной интегральной схемы в издании 217F Notice 1, которые привели к функциональному коэффициенту (π_f), равному 21 для силовых гибридных интегральных схем, были получены главным образом от одного производителя гибридных интегральных схем и состоят по большей части из технологического процесса, имеющего отношение к отказам, затрагивающим герметизацию, присоединение подложки, прикрепление кристаллов и интерметаллические соединения алюминий/золото. Для DC/DC-преобразователей компании IR Nirel, в которых используются квалифицированные материалы и технологические процессы (включая изделия промышленной и военной категории качества,

представленные десятками тысяч отгруженных модулей), при эксплуатации неизвестны случаи с такими видами отказов. Это относится к преобразователям серии ART и другим многочисленным преобразователям напряжения категории качества Class H и Class K. Специалисты компании IR полагают, что установление комплексного функционального коэффициента равным 21 для силовых гибридных микросхем, классифицированных по Class K, необоснованно ухудшает расчётные характеристики DC/DC-преобразователей, что не подтверждается реальной практикой эксплуатации. Так как DC/DC-преобразователи являются в основном схемами с линейным регулированием с несколькими силовыми компонентами, величина MTBF должна быть рассчитана с использованием комплексного функционального коэффициента 5,8 (применяемого к линейным схемам). С целью сравнения расчёт с применением значения $\pi_f = 21$ для всех компонентов и другой, использующий для силовых устройств коэффициент $\pi_f = 21$ и $\pi_f = 5,8$, применённый к остальным компонентам схемы, представлены в вариантах 4 и 5 (см. таблицу).

Одним из недостатков методов прогнозирования надёжности, предложенных в справочнике MIL-HDBK-217F, Notice 2, является требование использовать в качестве множителя при расчёте величины MTBF для гибридных интегральных схем функциональный коэффициент для схем (Circuit Function Factor). Например, при помещении линейной интегральной схемы в металлический корпус гибридной интегральной схемы коэффициент π_f принимается равным 5,8. Это значит, что интенсивность отказов компонента гибридной схемы в 5,8 раза больше, чем её базовая интенсивность отказов в соответствии с MIL-HDBK-217F. На основе опыта, приобретённого в течение длительного времени производства квалифицированных (по MIL-PRF-38534 и MIL-STD-883) гибридно-плёночных изделий, компания считает, что использование этого функционального коэффициента приводит к неверным результатам при расчёте величины MTBF для гибридных интегральных схем.

Согласно MIL-HDBK-217F, основной причиной повышенной интенсивности отказов для гибридных ИС является менее надёжное конструктивное уплотнение (герметизация). Специалисты компании считают, что это является необоснованным предположением при анализе гибридных ИС, произведённых на производственных мощностях, квалифицированных по Class H и Class K спецификации MIL-PRF-38534 (Performance Specification. Hybrid Microcircuits, General Specification For). Интенсивность отказов корпуса относится к двум отдельным случаям: нарушению герметизации корпуса и нарушению соединений в схеме (контакты). Общая длина периметра герметизации схемы в дискретном корпусе будет больше, чем у подобной схемы в гибридном корпусе. Наряду с меньшими проблемами герметизации, корпуса гибридных ИС также имеют свойственное им преимущество перед корпусами дискретных компонентов по числу требуемых соединений в схеме. Основное положение теории надёжности гласит: когда количество межсоединений возрастает, надёжность снижается. Число соединений, сделанных в гибридных ИС, примерно в 2 раза меньше числа межсоединений, сделанных в аналогичных схемах на дискретных компонентах. Схемы на дискретных компонентах требуют двух отдельных соединений для каждого компонента: одно – между полупроводниковым кристаллом и выводом корпуса и ещё одно – между выводом корпуса и платой схемы. Корпус гибридной ИС требует только одного соединения между полупроводниковым кристаллом и подложкой.

В связи с этим было принято решение использовать поправочный коэффициент при расчёте величины MTBF по справочнику MIL-HDBK-217F для всех квалифицированных гибридных ИС. Вследствие большой доли используемых в DC/DC-преобразователях линейных схем (при $f < 10 \text{ МГц}$) применяется функциональный схемный коэффициент для линейных микросхем. Справочник MIL-HDBK-217F требует базовую интенсивность отказов линейных компонентов умножить на 5,8, и, следовательно, использовать поправочный схемный коэффициент 0,17241 (величина, обратная 5,8), чтобы компенсировать эту неправомерную отрицательную оценку. Как правило, это даёт в результате величину MTBF для гибри-

ной ИС приблизительно на 50% больше, чем величина MTBF компонентов в дискретном корпусе. Эта разница является более обоснованной и точнее отражает приближённое к реальной интенсивности отказов значение, основанное на наработке оборудования за время эксплуатации в полевых условиях.

Выводы

Сравнение величин среднего времени наработки до отказа, рассчитанных с использованием изданий военного справочника MIL-HDBK-217E и MIL-HDBK-217F Notice 2, показывает существенное уменьшение рассчитанной величины. Детальное исследование созданной для редакции справочника 217F Notice 2 модели даёт серьёзный повод подвергнуть сомнению установленную величину некоторых коэффициентов π и их применимость в модели. Для некоторых изменённых коэффициентов представлены рассчитанные интенсивности отказов и обоснования. Специалисты по надёжности компании IR полагают, что одно из первых четырёх условий, выбранное из таблицы, более объективно представ-

ляет точную модель для расчёта величины MTBF для гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей напряжения. Что касается согласованности расчётов ревизии справочника Rev F с Rev E, по варианту расчёта 2, представленному в таблице, результаты получаются наиболее близкими.

Необходимо отметить, что MTBF – это характеристика надёжности оборудования, определяемая производителем. Разные производители могут использовать для своих расчётов различные базовые интенсивности отказов. Один производитель может точно следовать рекомендациям справочника MIL-HDBK-217 и применять опубликованные данные для компонентов коммерческого типа. Другой производитель может следовать формулам справочника, но использовать некоторые интенсивности отказов, определённые из собственного опыта работы со специфическими компонентами.

Потребитель должен понимать, при каких условиях была рассчитана величина MTBF, предоставляемая изготовителем [2].

В заключение необходимо отметить ещё одно обстоятельство, которое необходимо учитывать при расчёте эксплуатационной интенсивности отказов компонентов, руководствуясь справочником MIL-HDBK-217F: наличие ряда неточностей в моделях и их коэффициентах, а также практически полное отсутствие пояснений, о которых подробно рассказано в работе [4].

Литература

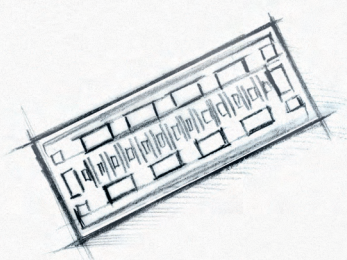
1. *Richard Miller*. An Examination of Changes Imposed by Revised Hybrid Models When Calculating MTBF Values using MIL-HDBK 217F, Notice 1&2. Application Note AN-1078. International Rectifier. 14/3/2005.
2. *Лукин А.В.* Надёжность источников вторичного электропитания. Практическая силовая электроника. 2001. №3.
3. *Рентюк В.* Вопросы надёжности для DC/DC-преобразователей. Компоненты и технологии. 2015. № 9, 12.
4. *Жаднов В., Полесский С., Якубов С.* Прогнозирование безотказности микросхем для военной и аэрокосмической электроники. Электронные компоненты. 2007. № 3.



CREE 

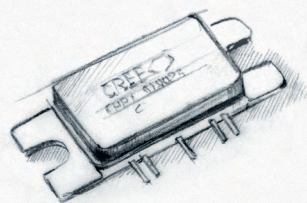
Wolfspeed 

НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



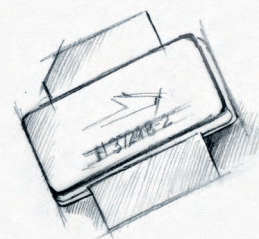
Кристаллы СВЧ-транзисторов GaN/SiC

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



Широкополосные GaN HEMT-транзисторы общего назначения

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



LDMOS-транзисторы

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

ProCHIP
POWERED BY ProSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIPRU ■ WWW.PROCHIPRU

Реклама

Экспериментальная оценка магнитных характеристик низкочастотных магнитопроводов

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

В статье рассмотрена номенклатура параметров магнитопроводов, представляющих интерес в контексте их использования в составе обмоточных изделий. Выполнен анализ способов построения семейства петель гистерезиса для оценки магнитных свойств магнитопроводов. Показано, что наиболее применимым для этой цели в условиях радиолaborатории является способ трансформатора, при котором петли гистерезиса отображаются на экране осциллографа в XY-режиме. Выполнен анализ составляющих погрешности построения петель гистерезиса при использовании метода трансформатора. С применением осциллографа серии R&S RTO в качестве примера выполнены измерения магнитных характеристик для магнитопровода, предназначенного для использования в трансформаторах и индуктивностях.

Введение

В настоящее время достигнут значительный прогресс в области разработки аналоговых устройств и узлов, который во многом обусловлен достижениями в области материаловедения. Требования по снижению массогабаритных показателей, стоимости электронных устройств, а также развитие новых способов преобразования сигналов привели к изменению номенклатуры широко применяемой компонентной базы, в частности обмоточных изделий: трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности. Доля их применения в совокупной массе других компонентов снижается, но одновременно повышаются требования к качеству таких изделий, которое определяется свойствами магнитопроводов (МП).

Известно, что снижение геометрических размеров магнитопроводов для заданного применения всегда ограничено процессами насыщения [1]. Именно по этой причине транс-

форматоры, применяемые в энергетике, не могут иметь малые размеры при большой мощности. При этом МП рекомендуется эксплуатировать при максимальной индукции, не превосходящей 80% от индукции насыщения B_H [2]. Если речь идёт о миниатюрных трансформаторах, то эксплуатация их МП осуществляется при индукции до $(0,9...0,95) B_H$ в зависимости от критичности линейности трансформации [3]. Известным способом повышения допустимой напряжённости магнитного поля в МП является использование зазоров, что позволяет снизить эффективную магнитную проницаемость $\mu_{эфф}$ и значительно повысить индукцию насыщения магнитной цепи с зазором.

В практике разработки электронных устройств и обмоточных изделий существует задача оценки магнитных характеристик МП. Она актуальна не только в случае, когда марка МП неизвестна или для него отсутствует справочная информация. Технологии производства, условия хранения, механические напряжения оказывают существенное влияние на основные магнитные характеристики МП. Так, например, известно [4], что любая рихтовка магнитомягких материалов приводит к появлению механических напряжений, увеличивающих потери на перемагничивание и, соответственно, площадь петли гистерезиса. Учитывая это, в критически важных

случаях, а также при исследовании образцов новых материалов для МП целесообразно выполнять измерения их магнитных параметров, ориентируясь на применение широко распространённых средств измерений, входящих в комплекс оборудования радиоэлектронных лабораторий. Естественно, применение рассмотренных далее решений не заменяет специальные комплексы для измерений в области материаловедения магнитных материалов [5], предназначенные в первую очередь для проведения научных и высокоточных исследований.

Номенклатура магнитных характеристик МП и подходы к их определению

Магнитные характеристики материалов весьма широко описаны в литературе и охватывают уровни от атомного, рассматриваемого, например, при разработке технологий получения материалов с заданными магнитными свойствами [6], до цельных образцов МП. Для задачи экспериментального определения магнитных характеристик МП следует ориентироваться на подходы, выработанные в материаловедении электронной техники [7, 8].

Магнитные свойства ферромагнетиков, в частности используемых для изготовления низкочастотных МП, обычно характеризуют зависимостью магнитной индукции B от напряжённости магнитного поля H . Наиболее простым в реализации способом построения кривой намагничивания (КН) как функции $B(H)$ является получение семейства петель гистерезиса, построенных при воздействии намагничивающего поля разной интенсивности. При их получении путём измерений необходимо учитывать тот факт, что проявляемые МП текущие магнитные свойства зависят от предыдущей намагниченности. В классическом случае в качестве исходного принимают размагниченное состояние МП, при котором в отсутствие



Рис. 1. Кривые намагничивания разных типов

внешнего поля $B = 0$, т.е. нет преимущественного направления намагниченности доменов, и сумма векторов их магнитных моментов близка к нулю.

В зависимости от характера воздействия магнитного поля обычно выделяют начальную, безгистерезисную и основную (коммутационную) КН (см. рис. 1). Первая из них получается при постепенном увеличении H и по форме мало отличается от основной, но не имеет хорошей воспроизводимости и потому не используется для сравнения свойств магнитных материалов. Безгистерезисная КН, получаемая при одновременном воздействии постоянного и переменного полей с убывающей до нуля амплитудой, отражает способность материала сохранять остаточную индукцию, ход такой КН близок к верхней части петли гистерезиса в первом квадранте координатной плоскости H - B .

Основная КН строится как геометрическое место вершин петель гистерезиса, получающихся при циклическом перемагничивании синусоидально изменяющимся полем, и отвечает требованию воспроизводимости. В дополнение к ней важнейшими характеристиками МП являются:

- зависимость относительной магнитной проницаемости μ от H (кривая Столетова), её начальное и максимальное значения;
- зависимость дифференциальной магнитной проницаемости от H ;
- удельные потери на перемагничивание;
- потери на вихревые токи.

Кривая намагничивания строится непосредственно по данному ранее её определению и наряду с семейством петель гистерезиса необходима для определения перечисленных характеристик МП. Зависимость $\mu(H)$ строится непосредственно по КН на основе соотношения $\mu(H) = B(H)/(\mu_0 H)$, где $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – абсолютная магнитная проницаемость. Сообразно этому, начальное μ_n и максимальное μ_{max} значения определяются по формулам:

$$\mu_n = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \left(\frac{B(H)}{H} \right), \quad \mu_{max} = \frac{1}{\mu_0} \frac{B(H_{\mu max})}{H_{\mu max}}, \quad (1)$$

где значение $H_{\mu max}$ соответствует μ_{max} . КН используется в качестве исходных данных и для определения дифференциальной магнитной проницаемости, причём:

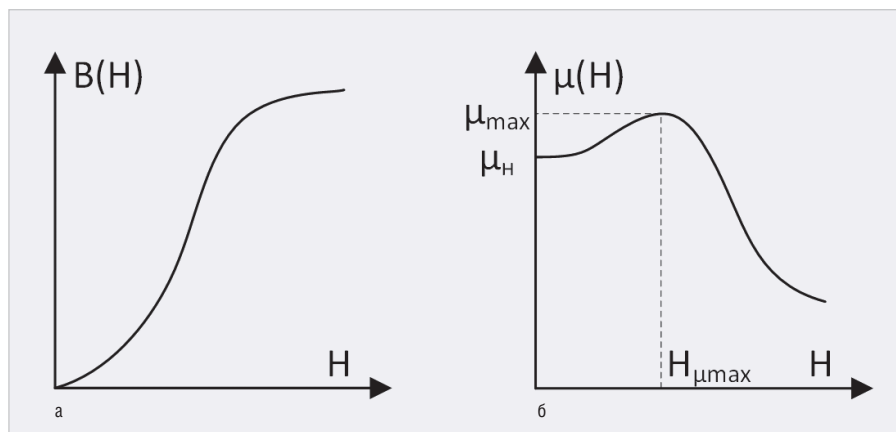


Рис. 2. Типовая форма зависимостей: а) $B(H)$; б) $\mu(H)$

$$\mu_{diff}(H) = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB(H)}{dH}.$$

Типовая форма зависимостей $B(H)$ и $\mu(H)$, получаемых экспериментально для магнитных материалов, представлена на рисунке 2.

Удельные потери на гистерезис за один цикл перемагничивания для магнитных веществ определяются формулой $P [\text{Джс} / \text{м}^3] = \oint H dB$, где интеграл берётся по петле гистерезиса, полученной для заданных условий измерений. Последняя формула может быть приведена к другому, более часто используемому виду, который отражает удельные потери в единицу времени и учитывает частоту перемагничивания f :

$$P_f [Bm / \kappa z] = \frac{f}{D} \oint H dB. \quad (2)$$

В формуле (2) D – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$. Потери на вихревые токи зависят не только от магнитных свойств МП, но и от проводимости материала. В зависимости от геометрической формы для МП применяют те или иные виды аппроксимации, позволяющей формально определить область протекания электрического тока. Например, для листового образца потери на вихревые токи составят:

$$P_B [Bm / \kappa z] = 1,64 d^2 f^2 B_{max}^2 / (D \rho), \quad (3)$$

где d – толщина листа, м; B_{max} – амплитуда магнитной индукции, Тл; ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м [7].

Итак, основные характеристики МП могут быть определены на основе экспериментально полученного семейства петель гистерезиса (ПГ), построенных для разных амплитудных значений напряжённости магнитного поля. Необходимо помнить, что форма КН и остальные характеристики МП проявляют зависимость от температуры и частоты, ввиду чего результаты измере-

ний будут справедливы лишь в некоторой ограниченной окрестности значений влияющих параметров. На основе КН при необходимости могут быть рассчитаны широко применяемые в физике показатели магнитной восприимчивости [9].

Способы построения кривой гистерезиса для магнитных материалов

Исходным условием для экспериментального получения петель гистерезиса является размагниченное состояние МП. В наибольшей степени это состояние может быть достигнуто в результате нагрева МП выше точки Кюри [8]. Однако такой способ реализовать в условиях радиолaborатории трудно, а сам нагрев почти наверняка станет причиной коробления и расслаивания МП, выполненных из лент малой толщины с электрической изоляцией между ними. Поэтому для первичного размагничивания МП обычно используется переменное либо постоянное коммутируемое плавно убывающее магнитное поле. Этой же стратегии следует придерживаться при построении петель гистерезиса.

Петли гистерезиса для образцов магнитных материалов могут быть построены с применением способов, где текущее значение магнитной индукции трансформируется в другую физическую величину, которая может быть измерена тем или иным способом. Важно отметить, что такого рода преобразование должно быть линейным, а его коэффициент – известным, если требуется получить оценки перечисленных ранее магнитных характеристик.

Рассмотрим кратко три метода построения петель гистерезиса, оценивая удобство их применения в радиолaborатории.

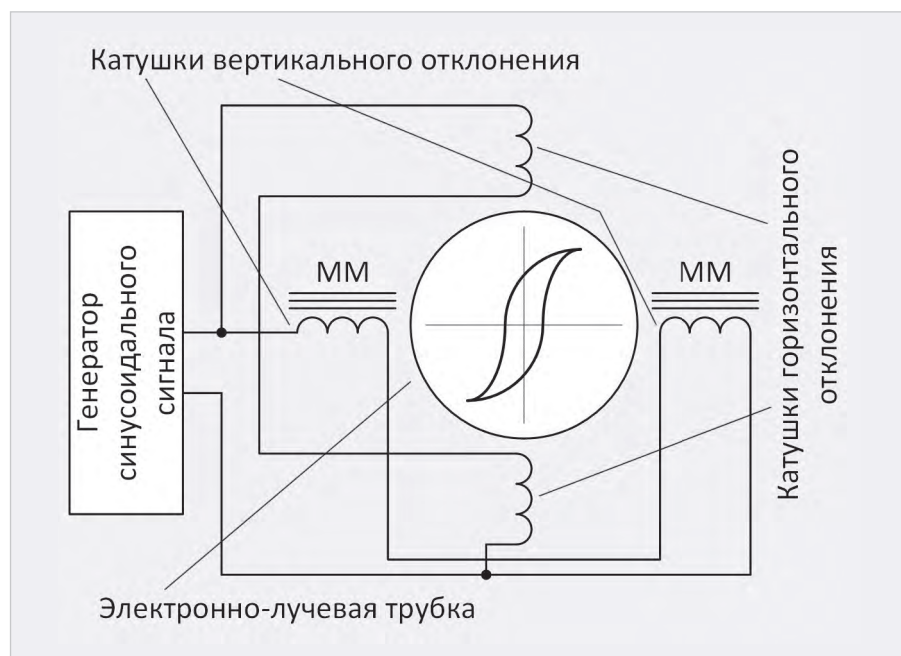


Рис. 3. Схема установки для построения ПГ методом ЭЛТ

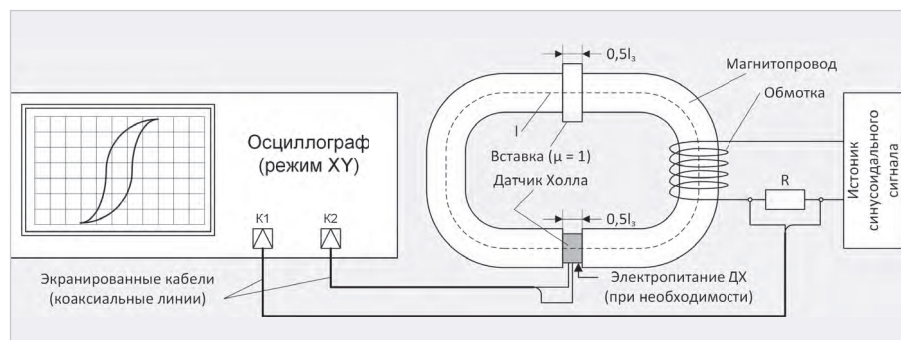


Рис. 4. Схема установки для построения ПГ методом прямого измерения магнитной индукции

1. Метод электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) основан на зависимости угла отклонения потока электронов от текущего значения магнитной индукции. В схеме на рисунке 3 на вход катушек вертикального и горизонтального отклонения подаётся синусоидальный сигнал некоторой частоты. В отсутствие магнитного материала внутри катушек вертикального отклонения на экране ЭЛТ будет наблюдаться прямая линия с углом наклона в 45° относительно горизонтали, что соответствует отсутствию фазового сдвига между токами, протекающими в катушках вертикального и горизонтального отклонения. Если теперь внутри катушек вертикального отклонения поместить образцы магнитного материала (ММ), то на экране ЭЛТ будет прорисована ПГ, соответствующая текущему режиму его намагничивания.

Описанный метод получения ПГ является классическим, но имеет ряд недостатков, ограничивающих его

использование. Магнитная цепь, образованная катушками вертикального отклонения с помещённым внутри ММ, является неоднородной, ввиду чего на основе полученной ПГ нельзя непосредственно определить форму кривой Столетова для исследуемого магнитного материала. С учётом того, что силовые линии магнитного поля проходят большей частью в среде с $\mu = 1$, расчёт эффективного значения магнитной проницаемости для упомянутой магнитной цепи является нетривиальной задачей, решение которой требует использования численных методов. Ещё одно ограничение в контексте задачи экспериментального определения магнитных характеристик МП обусловлено тем, что форма магнитопроводов, обычно предполагающая замкнутость силовых линий, мало приспособлена для помещения в катушки отклоняющей системы, а деформацию МП, например разгибание их П-образных секций, допустить нельзя.

Таким образом, рассмотренный способ построения ПГ малоприменим для определения магнитных свойств МП.

2. Метод прямого измерения магнитной индукции может быть реализован с использованием малогабаритных пассивных и активных датчиков Холла (ДХ) измерительного класса. Схема измерений приведена на рисунке 4. В ней МП обычно имеет два зазора, в один из которых вводится ДХ, ориентированный таким образом, чтобы его магнитная ось совпадала с вектором индукции в магнитной цепи. Для намагничивания МП используется выполненная на нём обмотка, через которую пропускается синусоидальный ток, описываемый временной функцией $i(t)$. При этом в произвольный момент времени напряжённость магнитного поля $H(t)$ и напряжение на выходе ДХ $U_{ДХ}(t)$ пропорциональны $i(t)$ и $B(t)$ соответственно, причём функция $B(t)$ описывает зависимость магнитной индукции от времени. В качестве средства визуализации процесса перемагничивания МП в схему измерений включён осциллограф, работающий в XY-режиме, на его каналы подаются напряжение $U_R(t)$ с резистора R , включённого последовательно с обмоткой, и напряжение $U_{ДХ}(t)$. Для получения зависимости $B'(H)$ применяют линейное масштабирование построенных ПГ, коэффициенты которого определяются элементами измерительной установки. Цепи подачи сигналов на каналы осциллографа должны быть выполнены экранированными проводами или коаксиальными кабелями для снижения аддитивных помех в выходном сигнале ДХ.

Важно подчеркнуть, что зависимость $B'(H)$, полученная экспериментально с использованием схемы на рисунке 3, будет отличаться от аналогичной для случая, когда МП не имеет зазоров. Наличие зазоров приводит к увеличению магнитного сопротивления и такому перераспределению поля в магнитной цепи, при котором насыщение достигается при значительно большей магнитодвижущей силе. Данный приём широко применяется при проектировании трансформаторов большой мощности [3], позволяя снизить значение $\mu_{эфф}$. Таким образом, зависимость $B'(H)$ будет соответствовать функции $\mu_{эфф}(H)$, а не $\mu(H)$ во введённых ранее обозначениях.

Для получения функции $\mu(H)$ рассмотрим МП с зазором шириной $l_3 \ll l$, где

Высокая производительность, решение большого круга задач, точный выбор

Познакомьтесь с новым осциллографом R&S серии RTP (4, 6, 8, 13, 16 ГГц)

- Учет и компенсация цепи измерительного тракта в реальном масштабе времени
- Несколько инструментов в одном приборе
- Компактный размер и бесшумная работа

Осциллограф R&S RTP

Новый стандарт высокоточных измерений



Хотите узнать подробности?
www.rohde-schwarz.com/ru/rtp



ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



Реклама

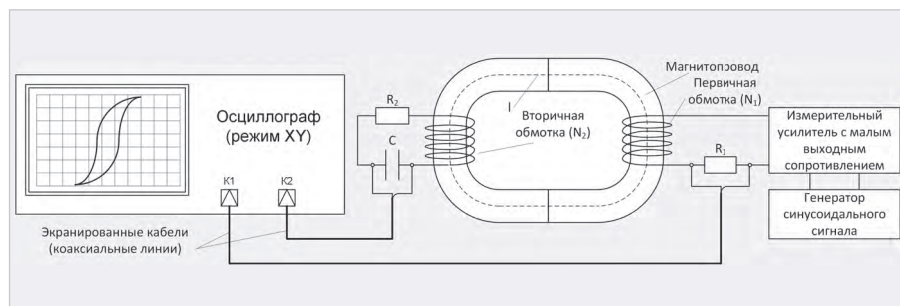


Рис. 5. Схема установки для построения ПГ методом трансформатора

l — средняя длина магнитной цепи. В типовом случае $l_3/l = 0,001...0,05$ [3], поэтому можно считать, что $l_3 + l \approx l$. Ввиду малости размеров зазора также можно считать, что площадь сечения S магнитной цепи одинакова во всех её точках. Магнитное сопротивление МП без зазора составляет $R_m = l/(\mu_0 S)$. При наличии зазора в магнитной цепи возникает дополнительное сопротивление $R_{m,z} = l_3/(\mu_0 S)$, и полное её сопротивление составит:

$$R_{m,\Sigma} = R_m + R_{m,z} = \frac{l}{\mu_0 S} + \frac{l_3}{\mu_0 S} = \frac{1}{\mu_0 S} \left(l + l_3 \right) = \frac{l}{\mu_0 S} \left(1 + \frac{l_3}{l} \right).$$

Отсюда имеем:

$$\frac{1}{\mu_{эфф}} = \frac{1}{\mu} + \frac{l_3}{l}.$$

и окончательно:

$$\mu_{эфф} = \frac{\mu}{1 + \mu \cdot (l_3/l)}. \quad (4)$$

Использование установок на основе ДХ в условиях радиолaborаторий более рационально, чем применение ЭЛТ, однако не лишено ряда недостатков помимо рассмотренной необходимости пересчёта. Большинство ДХ измерительного класса не предназначены для работы в магнитных полях с напряжённостью, достигаемой в зазоре МП. Если измерения проводятся для малогабаритных МП, то выполнение условия $l_3 \ll l$ становится затруднительным. Наконец, введение ДХ в зазор МП требует дополнительной вставки из материала с $\mu = 1$, исключаяющей значимое изменение площади сечения магнитной цепи. Эти недостатки полностью устранены в следующем методе построения ПГ.

3. Метод трансформатора основан на использовании закона электромагнитной индукции, согласно которому электродвижущая сила, наведённая переменным магнитным полем во вторичной обмотке, пропорциональна производной магнитной индукции по времени [9]. Учитывая это, в схеме

измерений должна использоваться интегрирующая цепь, восстанавливающая зависимость индукции от времени $B(t)$. Схема установки представлена на рисунке 5. В ней исследуемый магнитопровод с площадью поперечного сечения S включён в состав трансформатора, у которого первичная и вторичная обмотки имеют соответственно N_1 и N_2 витков. В цепь первичной обмотки включено сопротивление R_1 , к выходу вторичной обмотки подключена интегрирующая цепь, образованная резистором R_2 и ёмкостью C .

Магнитодвижущая сила $M(t)$, создаваемая током в первичной обмотке, составляет $M(t) = i_1(t)N_1$. Учитывая, что магнитное сопротивление замкнутого МП намного меньше, чем свободного пространства, можно считать, что силовые линии магнитного поля полностью находятся внутри объёма МП. Отсюда следует, что:

$$H(t) = M(t)/l = i_1(t)N_1/l = U_{R1}(t)N_1/(lR_1). \quad (5)$$

Создаваемая во вторичной обмотке электродвижущая сила в соответствии с законом электромагнитной индукции с точностью до знака составляет:

$$E(t) = N_2 S \frac{dB(t)}{dt}.$$

Номиналы элементов в схеме выбираются так, чтобы для амплитуд напряжений $U_{C,m}$ и $U_{R2,m}$ на ёмкости C и резисторе R_2 выполнялось соотношение $U_{C,m}/U_{R2,m} \ll 1$, т.е. для выбранной частоты синусоидального сигнала f должно выполняться соотношение: $R_2 \gg 1/(2\pi fC)$. В этом случае ток во вторичной обмотке $i_2(t) = E(t)/R_2$.

В то же время ток $i_2(t)$ определяет напряжение $U_C(t)$ на конденсаторе C . Действительно, $U_C(t) = q_C(t)/C$, где $q_C(t)$ — зависимость заряда на конденсаторе от времени. С другой стороны, по определению $q_C(t) = \int i_2(t)dt$. Учитывая изложенное ранее, имеем:

$$U_C(t) = \frac{N_2 S}{CR_2} \int \frac{dB(t)}{dt} dt = \frac{N_2 S}{CR_2} B(t),$$

откуда:

$$B(t) = \frac{CR_2}{N_2 S} U_C(t). \quad (6)$$

Таким образом, функции $H(t)$ и $B(t)$, необходимые для построения семейства ПГ, могут быть определены по результатам измерений с использованием схемы на рисунке 5 при известных характеристиках её элементов.

Метод трансформатора сравнительно легко реализуем в условиях радиолaborатории и не требует использования специализированных средств измерений и оснастки. К его недостаткам следует отнести повышенные требования к чувствительности осциллографа. Кроме того, обычные лабораторные источники сигналов оказываются малоприспособленными для применения в такой схеме из-за падения напряжения на внутреннем сопротивлении. Здесь целесообразно использовать измерительный усилитель с малым выходным сопротивлением для создания достаточно высокой магнитодвижущей силы. Наконец, ещё один недостаток состоит в необходимости намотки весьма большого количества витков, в особенности для испытаний МП значительных габаритов с большим значением l . Тем не менее среди известных методов построения ПГ последний является универсальным, простым в реализации и потому наиболее распространённым.

Как было показано ранее, характеристики МП определяются на основе семейства ПГ. Ввиду этого для схемы на рисунке 5 целесообразно оценить погрешность измерения $B(t)$, определяемую используемыми расчётными приближениями.

Составляющие погрешности построения ПГ и необходимая чувствительность осциллографа при использовании метода трансформатора

Будем считать, что погрешности, связанные с измерением магнитной индукции по схеме на рисунке 5, обусловлены только принятыми для неё допущениями, позволившими получить расчётные формулы, а номиналы элементов являются достоверно известными. Исходя из этого, можно выделить погрешности расчёта амплитуды тока Δ_r , фазового сдвига Δ_ϕ и интегрирующей цепи Δ_s . Оценим их относительные значения, по-прежнему не учитывая явление самоиндукции.

С учётом того, что на ёмкости C в составе интегрирующей цепи падает некоторое напряжение, фактиче-

ский ток в интегрирующей цепи будет несколько меньше, чем получаемый по представленным до этого формулам. Учитывая, что на выходе вторичной обмотки формируется близкое к синусоидальному напряжение, целесообразно перейти к комплексным амплитудам, сохраняя введённые ранее обозначения. Тогда $\dot{I}_2 = \dot{E} / R_2$, а фактический ток $\dot{I}_{2F} = \dot{E} / (R_2 - j / (2\pi f C))$. Во всех элементах интегрирующей цепи и во вторичной обмотке протекает один и тот же ток, и для оценки погрешности можно использовать амплитудные значения этих токов. Имеем:

$$\Delta_I = \left| \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_{2F}} \right| - 1 = \left| \frac{\dot{E} R_2 - j / (2\pi f C)}{\dot{E}} \right| - 1 = \sqrt{1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 C^2 R_2^2}} - 1 \approx \frac{1}{8\pi^2 f^2 C^2 R_2^2}.$$

Последнее приближённое равенство в уравнении (7) получено с учётом разложения подкоренного выражения в ряд Макларена в окрестности нуля [10].

Погрешность фазового сдвига обусловлена тем, что ток $i_2(t)$ и электродвижущая сила $E(t)$ не являются синхронными по фазе, как это было

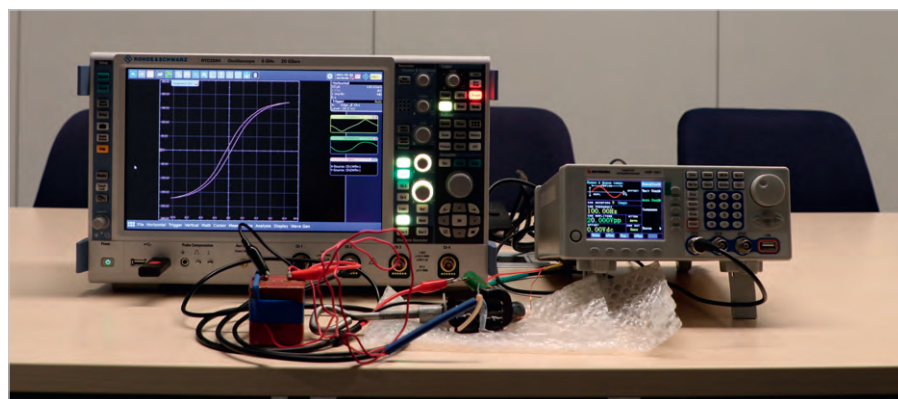


Рис. 6. Фотография измерительной установки для получения семейства ПГ

принято ранее. Разность фаз для них с точностью до знака составляет $\varphi = \arctg(1 / (2\pi f C R_2))$, а связанная с ней погрешность Δ_φ оказывается наибольшей в моменты времени, когда $E(t) = 0$, и может быть, учитывая малость значения $1 / (2\pi f C R_2)$, определена в относительных единицах как:

$$\Delta_\varphi = \sin(\arctg(1 / (2\pi f C R_2))) \approx 1 / (2\pi f C R_2).$$

Погрешность интегрирующей цепи может быть оценена следующим образом. Если бы цепь $R_2 C$ являлась идеальным интегратором, то для неё

действовало бы строгое равенство, выполнение которого не зависит от напряжения $U_c(t)$. Для цепи на рисунке 4 справедливо уравнение:

$$U_c(t) = \frac{1}{C} \int \frac{E(t)}{R} dt.$$

Используя подход, аналогичный применённому для оценки Δ_φ , можно показать, что:

$$\Delta_s = 1 - \frac{U_{Rm}}{E_m} = 1 - \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + 1 / (4\pi^2 f^2 C^2)}} = 1 - \frac{\sqrt{4\pi^2 f^2 C^2 R_2^2}}{\sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 C^2 R_2^2}} \approx \frac{1}{8\pi^2 f^2 C^2 R_2^2}, \quad (7)$$

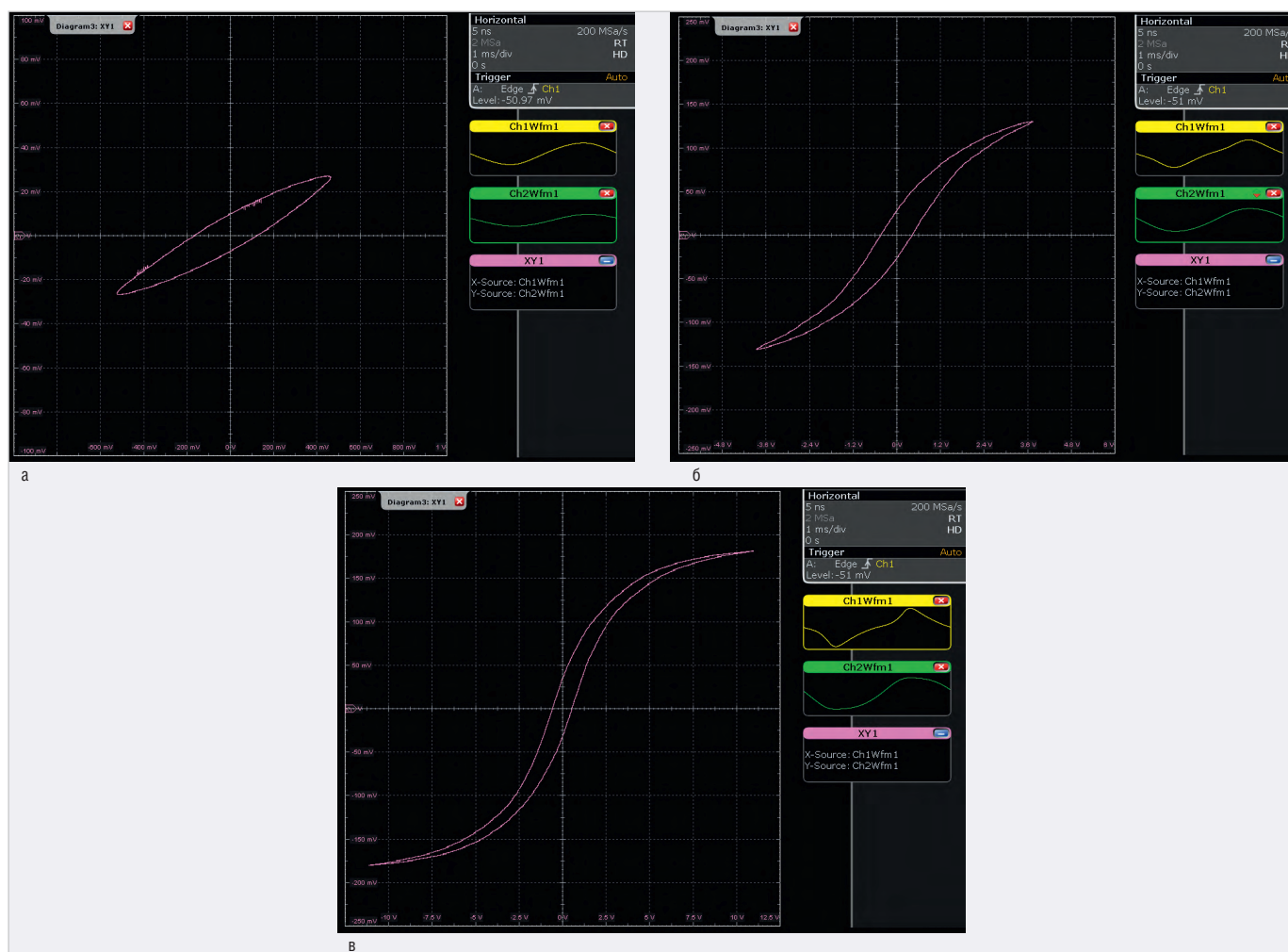


Рис. 7. Результаты измерений по схеме на рис. 5, полученные при выходном напряжении генератора: а) 2 В (п-п); б) 10 В (п-п); в) 17 В (п-п)

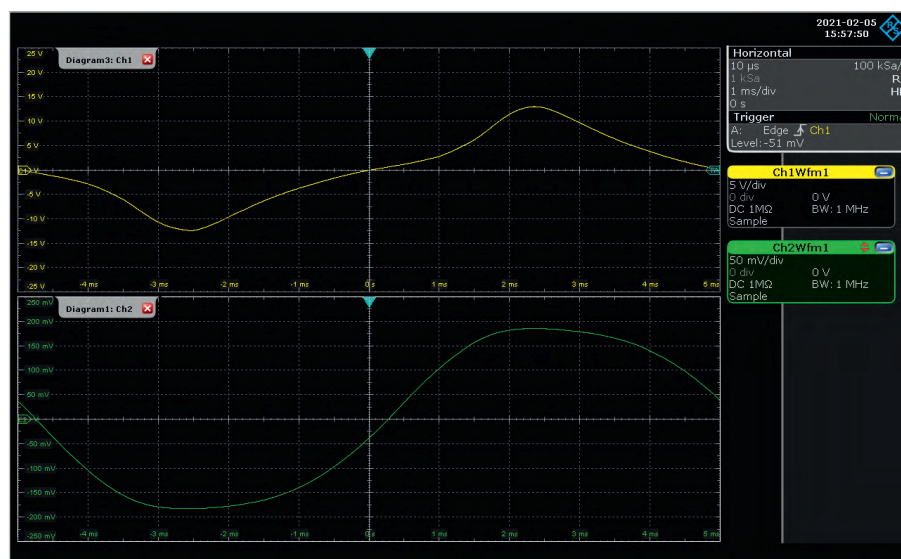


Рис. 8. Осциллограммы напряжений, полученные при выходном напряжении генератора, равном 20 В (п-п)

где E_m – амплитуда электродвижущей силы на вторичной обмотке.

Для используемой в экспериментальной части статьи установки при $f = 100$ Гц $\Delta_1 = \Delta_2 = 0,0124\%$, $\Delta_0 = 0,8\%$. Отсюда следует, что при известных с достаточной точностью номиналах элементов измерительной установки определяющей является погрешность фазового сдвига. Точность получаемых результатов измерений будет достаточно высокой при использовании качественных осциллографов.

С повышением частоты f , ёмкости C и сопротивления R_2 рассмотренные составляющие погрешности уменьшаются, однако при прочих равных условиях повышаются требования к чувствительности используемого осциллографа, поскольку амплитуда напряжения на конденсаторе:

$$U_{C,m} = E_m / \sqrt{1 + 4\pi^2 C_2 R_2^2} \approx E_m / (2\pi f C R_2).$$

Лабораторные генераторы на холостом ходу способны формировать напряжение амплитудой до 10...20 В, но на частотах порядка 50 Гц большая его часть будет падать на выходном сопротивлении генератора. Это ещё один довод в пользу использования усилителей с низким выходным сопротивлением, в т.ч. при использовании метода датчика Холла (см. рис. 4). В типовом случае значение $E_m \sim 1$ В, и при $C = 10$ мкФ, $R_2 = 10$ кОм получим $U_{C,m} \sim 16$ мВ. Синусоидальный сигнал с такой амплитудой вполне можно наблюдать на современных осциллографах. Повысить напряжение на ёмкости можно и путём увеличения количества витков во вторичной обмотке, но это увеличивает объём и продолжительность подготовительных работ.

Таким образом, при выборе элементов измерительной установки необходимо соблюдать компромисс между точностью измерений и требованиями к чувствительности каналов осциллографа.

Пример выполнения измерений магнитных характеристик МП

Объект исследований, измерительное оборудование и оснастка

В качестве объекта исследования был выбран МП, предназначенный для изготовления малогабаритных трансформаторов и дросселей и имеющий поперечное сечение прямоугольной формы с размерами 16×7 мм, т.е. $S = 1,12 \times 10^{-4}$ м². Средняя длина образованной таким МП магнитной цепи составляла $l = 0,138$ м. МП образован двумя П-образными половинами с полированными торцами, которые при проведении эксперимента сжимались с минимально необходимым усилием струбциной из дюралюминиевого сплава. На МП было сформировано две обмотки с количеством витков $N_1 = N_2 = 100$ шт. Схема измерений соответствовала рисунку 5, в ней на основе предварительных оценок были выбраны номиналы элементов $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ кОм, $C = 10$ мкФ. Для формирования намагничивающего тока в первичной обмотке использовался усилитель мощности в составе генератора сигналов АНР-1041 с выходным сопротивлением 2,5 Ом и коэффициентом усиления 1,53. На его вход подавался синусоидальный сигнал с канала А того же генератора, имевший частоту $f = 100$ Гц. В схеме измерений использовался осциллограф R&S RTO2064 с

четырьмя каналами и полосой рабочих частот до 6 ГГц, каналы 1 и 2 которого подключались в соответствии со схемой на рисунке 5. Фотография измерительной установки представлена на рисунке 6.

Получение семейства петель гистерезиса

Как отмечалось до этого, ПГ, отражающие зависимость $B(H)$ в цикле перемагничивания, позволяют построить КН и определить функции $\mu(H)$ и $\mu_{\text{диф}}(H)$, а также рассчитать удельные потери на перемагничивание.

На рисунке 7 показаны кривые, полученные для выходных напряжений генератора, равных 2; 10 и 17 В (п-п). Важно подчеркнуть, что это ещё не сами ПГ, а их прообраз. Для малой амплитуды намагничивающего поля (см. рис. 7а) ПГ имеет эллиптическую форму, характерную для отсутствия смещений границ доменов. На эпюре напряжения в канале 1, показанной в правой части рисунка 7в, хорошо видно, что напряжение на резисторе R_1 , характеризующее ток в первичной обмотке, имеет синусоидальную форму, но вблизи максимумов претерпевает искажения в виде сглаженных выбросов. Это означает, что с приближением тока к области максимальных значений полное сопротивление цепи намагничивания падает, что объясняется уменьшением индуктивности первичной обмотки за счёт снижения μ с ростом напряжённости магнитного поля. Более наглядно это видно из осциллограмм на рисунке 8, построенных на периоде изменения выходного сигнала генератора при выходном напряжении 20 В (п-п).

Для получения семейства ПГ экспериментальные данные должны быть масштабированы в соответствии с уравнениями (5), (6). Для осуществления математической обработки результатов измерений выборки, полученные осциллографом, были сохранены на периоде $T = 1/f = 10$ мс в объёме 1000 шт. на каждый канал. На рисунке 9а совместно показаны те же кривые, что и на рисунке 7, т.е. красная, синяя и чёрная петли построены по результатам измерений для выходных напряжений генератора, равных 2; 10 и 17 В (п-п). На рисунке 9б представлены ПГ в координатах H - B . Коэффициенты масштабирования для H и B составили соответственно 144,93 А/(В·м) и 8,93 Тл/В.

Как видно, за счёт малой длины магнитной цепи максимальная напряжённость магнитного поля и индук-

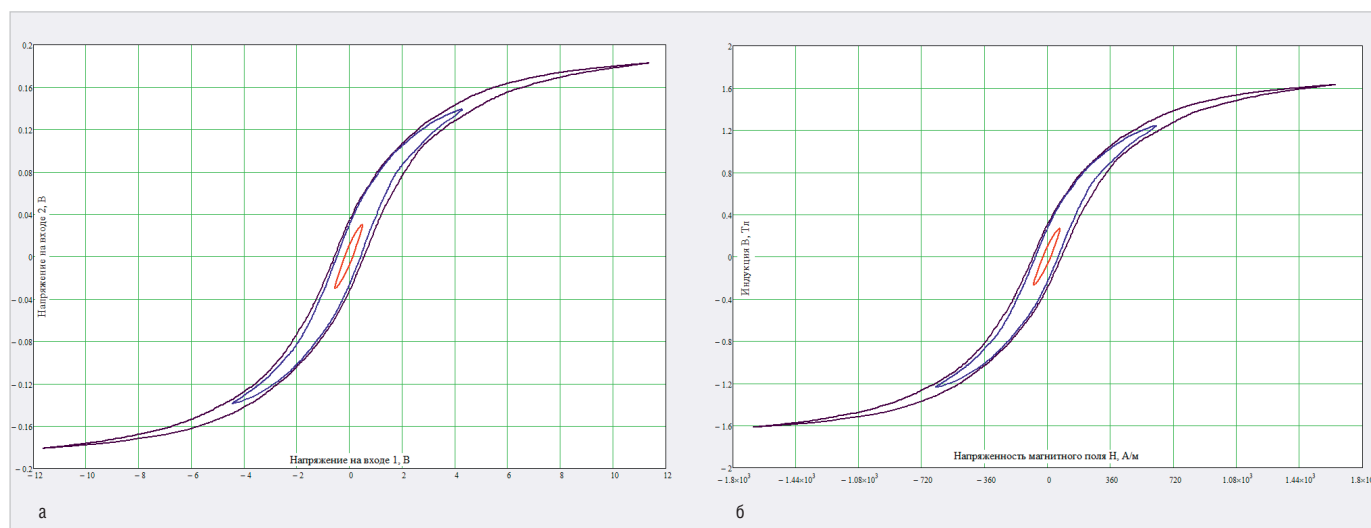


Рис. 9. Кривые, полученные при намагничивании МП полями с разной амплитудой: а) по записанным выборкам; б) по результатам масштабирования (ПГ)

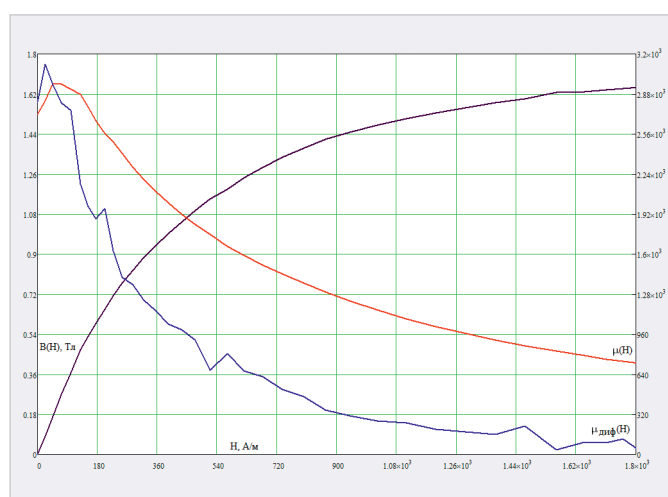


Рис. 10. Зависимости $V(H)$, $\mu(H)$ и $\mu_{\text{диф}}(H)$, полученные по результатам обработки экспериментальных данных

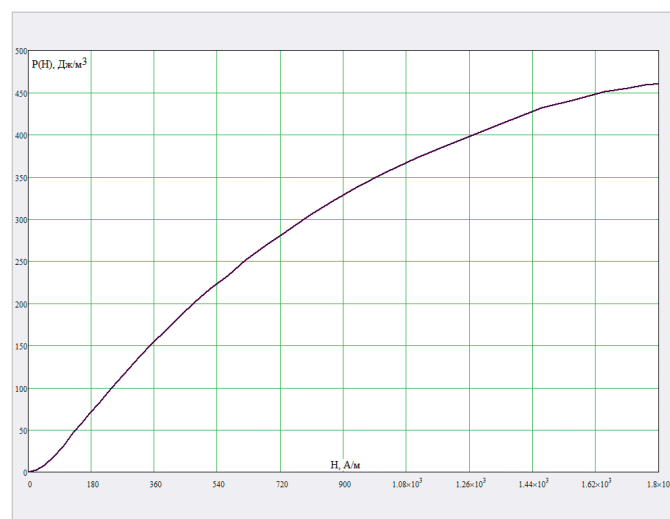


Рис. 11. Зависимость потерь на перемагничивание от напряжённости поля, полученная на основе интегрирования по петлям гистерезиса

ция превосходят 1500 А/м и 1,6 Тл, что достаточно для перехода МП в режим насыщения и исследования сопутствующего уменьшения магнитной проницаемости. При максимальном выходном напряжении генератора, равном 20 В (п-п), эти значения составляют чуть более 1800 А/м и 1,653 Тл.

Для выявления магнитных свойств исследуемого МП описанным образом было получено семейство петель гистерезиса, при этом выходное напряжение генератора изменялось в интервале от 0,7 до 20 В (п-п) с шагом от 0,3 до 0,7 В в зависимости от резкости изменения положения крайних точек петель. Всего было получено 38 массивов данных.

Определение зависимостей $V(H)$, $\mu(H)$ и $\mu_{\text{диф}}(H)$

Определение зависимостей было осуществлено в соответствии с данным ранее формальным определением этих характеристик. В каждом массиве выбо-

рок находились максимальные значения, соответствующие крайней точке ПГ, осуществлялся пересчёт этих значений в индукцию и напряжённость магнитного поля, и затем рассчитывалась магнитная проницаемость μ . Дифференциальная магнитная проницаемость определялась по приращениям значений H и V при заданных значениях напряжённости магнитного поля.

На рисунке 10 показаны полученные зависимости $V(H)$, $\mu(H)$ и $\mu_{\text{диф}}(H)$. Вид КН в целом соответствует её типовой форме, представленной на рисунке 2а. Зависимость $\mu(H)$ отражает увеличение магнитной проницаемости в области слабых полей и дальнейший её спад при приближении к режиму насыщения, причём $\mu_n = 2720$, $H_{\text{нmax}} = 50$ А/м, $\mu_{\text{max}} = 2970$, а соответствующее значение индукции равно 0,17 Тл. Зависимость $\mu_{\text{диф}}(H)$ имеет локальный максимум $\mu_{\text{диф}} = 3120$ при $H = 30$ А/м. Полученный график зависимости дифференциаль-

ной магнитной проницаемости имеет изрезанность, которая может быть сглажена скользящим усреднением. В области значений $H > 1500$ А/м значение $\mu_{\text{диф}} < 130$, т.е. с приближением к насыщению дифференциальная магнитная проницаемость снижается значительно сильнее, чем функция $\mu(H)$.

Зависимости $\mu(H)$ и $\mu_{\text{диф}}(H)$ в полной мере характеризует проблему так называемого ферромагнитного резонанса [11], которая состоит в следующем. При появлении перенапряжения на входе трансформатора ток в первичной обмотке возрастает, увеличивается напряжённость поля в магнитной цепи, в результате чего резко снижается магнитная проницаемость МП. Это ведёт к снижению индуктивного сопротивления и ещё большему увеличению тока в обмотке, что при неблагоприятной ситуации дополняется явлениями параллельного резонанса. Ферромагнитный резонанс способен за несколь-

ко секунд выводить трансформаторы из строя. Для его незамедлительной блокировки на электроподстанциях применяют специальные автоматические устройства.

Зависимость потерь на перемагничивание от напряжённости магнитного поля, как уже было отмечено, определяется интегралом $P = \oint H dB$, который берётся за единичный период цикла намагничивания. Для перехода к классическому интегрированию преобразуем дифференциал как:

$$dB = \frac{dB(t)}{dt} dt,$$

тогда:

$$P = \oint H dB = \int_{-0,5/f}^{0,5/f} H(t) \frac{dB(t)}{dt} dt.$$

По аналогии с рассмотренными зависимостями функция потерь $P(H)$ была определена для значений H в интервале от 0 до 1800 А/м. График зависимости $P(H)$ представлен на рисунке 11, его форма в целом сходна с кривой намагничивания, за исключением области слабых полей (менее 30 А/м), где нарастание потерь с увеличением H происходит более медленно за счёт отсутствия смещения границ магнитных доменов. С приближением к режиму насыщения возрастание потерь происходит всё медленнее, составляя около 460 Вт/м³ при $H = 1800$ А/м.

Оценка влияния зазора в магнитной цепи на значение эффективной магнитной проницаемости

Оценка может быть выполнена на основе сравнения петель гистерезиса, построенных для одной и той же амплитуды магнитного поля при наличии и в отсутствие зазора в магнитопроводе. Такие петли гистерезиса совместно приведены на рисунке 12. Для формирования малого зазора постоянного размера использовались прокладки из плёночного фторопласта толщиной 15 мкм, помещённые между П-образными половинами МП при минимально достаточном сжатии струбциной. Экспериментальное значение магнитной проницаемости МП без зазора составляет 701, а при $l_3 = 30$ мкм – 635. В соответствии с формулой (4) при $\mu = 701$, $l_3 = 30$ мкм и $l = 0,138$ м имеем $\mu_{эфф} = 608$. Как видим, теоретические и практические результаты вполне соотносятся друг с другом, а небольшое расхождение определяется деформацией прокладки, сопровождающейся уменьшением её толщины.

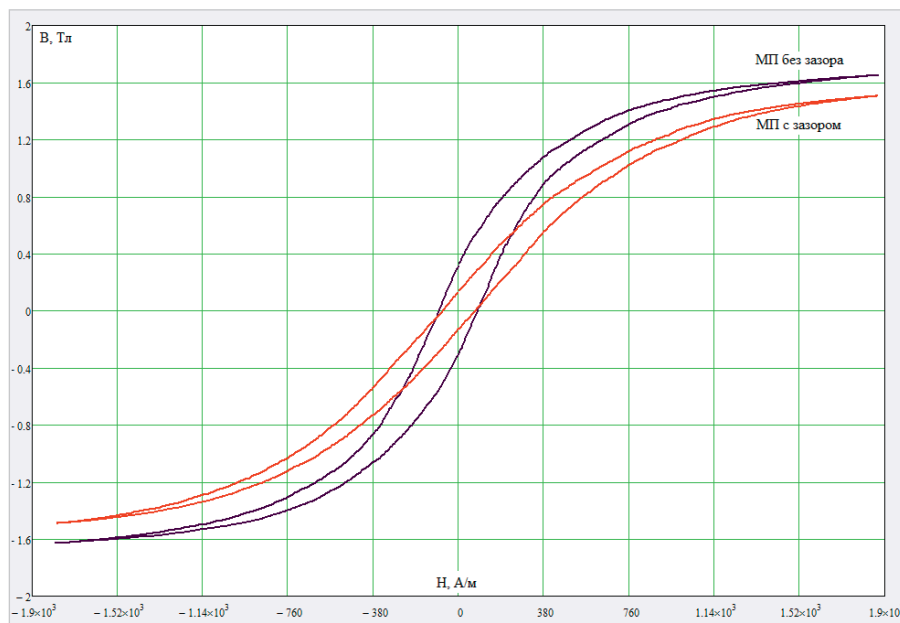


Рис.12. Петли гистерезиса, построенные при амплитуде магнитного поля 1870 А/м для МП с зазором малого размера и без зазоров

Применение МП с зазором широко применяется в силовых трансформаторах для снижения нелинейных искажений и увеличения индукции насыщения. Это позволяет изготавливать такие устройства более компактными и с меньшей массой магнитопровода.

Заключение

Таким образом, на основе сравнительно несложных измерений, вполне доступных в условиях радиолaborатории, может быть получена полная информация о характеристиках магнитопроводов, необходимая для проектирования и изготовления обмоточных изделий с их использованием. Измерительная установка не требует применения специфических средств измерений, и совершенно очевидно, что использованный в экспериментальной части работы осциллограф серии R&S RTO обладает несравненно более широкой применимостью.

Основная проблема, которая может сопровождать описанные измерения, состоит в том, что построение семейства ПГ для частот выше промышленной требует применения источников сигналов с большим выходным напряжением из-за роста индуктивности первичной обмотки в схеме на рисунке 4. В некоторых случаях она может быть решена применением в качестве источников питания частотных преобразователей, предназначенных для

управления скоростью вращения электродвигателей, если их выходной сигнал имеет низкий коэффициент гармоник.

Литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. В трех частях. – М.: Высшая школа, 1964. 750 с.
2. Сидоров И. Н. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. Справочник. – М.: Радио и связь, 1985. 413 с.
3. URL: <https://vprayaem.ru/> (дата обращения 15.01.2021).
4. Кечиев Л. Н., Акбашиев Б. Б., Степанов П. В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2010. 470 с.
5. Интернет-ресурс <https://lsb-solutions.ru> (дата обращения 18.01.2021).
6. Крутичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. Т. 1. М. Мир, 1976. 353 с.
7. Тареев Б. М., Короткова Н. В., Петров В. М. и др. Электрорадиоматериалы. – М. Высшая школа, 1978. 336 с.
8. Пасынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. Учебник. СПб. Лань. 2003. 368 с.
9. Трофимова Т. И. Курс физики. М. Высшая школа. 1990. 479 с.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука. 1974. 832 с.
11. Жежеленко И. В., Короткевич М. А. Электромагнитная совместимость в электрических сетях. Минск. Вышэйшая школа. 2012. 197 с.



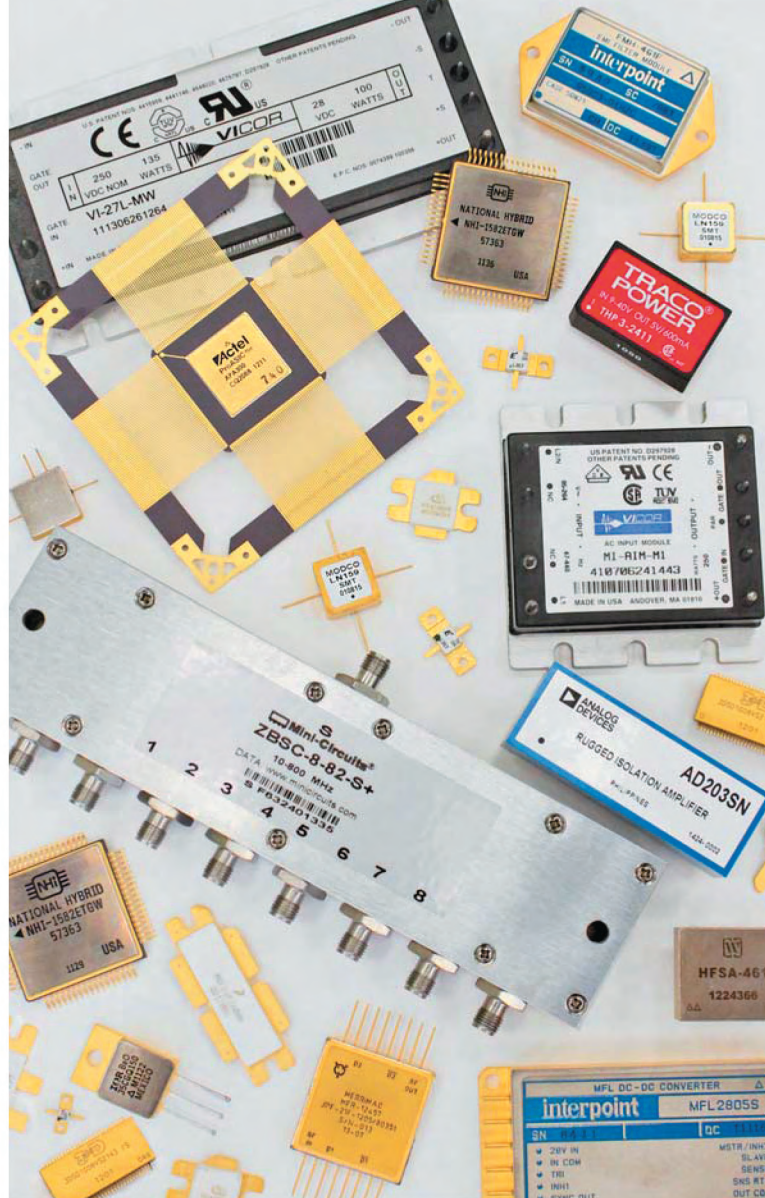


КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ЭКБ

**ВСЯ ПОСТАВЛЯЕМАЯ
ПРОДУКЦИЯ ПРОХОДИТ
«ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ»
И «ИДЕНТИФИКАЦИЮ»**

АО «ТЕСТПРИБОР» осуществляет комплексные поставки электронных компонентов отечественного и иностранного производства для различного применения классов:

- Industrial, ■ Military, ■ Space



ПРОГРАММА ПОСТАВОК

- Микросхемы
- ПЛИС
- СБИС
- Источники питания
- Преобразователи
- Конденсаторы
- Резисторы
- Транзисторы
- Диоды
- Реле
- Переключатели
- Разъемы
- Фильтры
- Атенюаторы
- Ответвители



О первой в мире радиোগрамме, переданной в России 125 лет назад

«Телеграфия без проводов в действительности является результатом опытов Попова»

Из письма Э. Бранли Русскому физико-химическому обществу

Владимир Бартенев (bartvg@rambler.ru)

Март 2021 года в истории радио особенный. Во-первых, 16 марта родился изобретатель радио – великий русский учёный Александр Степанович Попов, во-вторых, 24 марта 1896 года А. С. Попов впервые в мире осуществил беспроводную передачу радиোগраммы. Важно подчеркнуть, что это произошло за год до получения в Англии Г. Маркони первого своего патента под названием «Усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппаратуре для этого» 2 июля 1897 года. И, добавим: в январе исполнилось 115 лет, как А. С. Попова не стало.

Краткая биография А. С. Попова

Начнём рассказ в хронологическом порядке, т.е. со дня рождения изобретателя радио (см. рис. 1), точнее с изложения его краткой биографии [1].

Александр Степанович Попов родился 16 марта 1859 года в посёлке Туринские рудники Богословского горного округа Верхотурского уезда Пермской губернии (ныне – город Краснотурьинск Свердловской области) в семье священника. Не все знают, что знаменитый изобретатель происходил из старинного рода священнослужителей Поповых. А насчитывал этот род девять поколений. Отец Александра Степановича, Степан Петрович Попов (1827–1897), был настоятелем храма во имя Иоанна Богослова в Богословском заводе, а предки служили в приходах Кунгурского уезда Пермской епархии. Мать Анна Степановна (1830–1903) и семь детей составляли большую и дружную

семью. Александр был средним ребёнком. Старшие – брат Рафаил (1849–1913) и сестры Екатерина (1850–1903) и Мария (1852–1871) – всегда помогали младшим. Александр, в свою очередь, заботился о младших сестрах – Анне (1860–1930), Августе (1863–1941) и Капитолине (1870–1942). Начальное образование Александр получил в Далматовском (1869–1871) и Екатеринбургском (1871–1873) духовных училищах. В 1873 году Попов поступил в Пермскую духовную семинарию. В этих учебных заведениях обучение для детей духовного сословия было бесплатным, что для большой семьи Поповых имело существенное значение. Религиозное воспитание привило Александру Попову высокие моральные качества, неоднократно отмеченные знавшими его людьми. В 1877 году Александр Попов успешно закончил общеобразовательные четыре класса семинарии, дававшие знания в объёме классической гимназии с правом поступления в университет. По его прошению он был отчислен из семинарии для поступления в светское высшее учебное заведение. В сентябре 1877 года Александр Попов поступил на физико-математический факультет Петербургского университета. В Петербург, где в это время жил Рафаил, закончивший историко-филологический факультет Петербургского университета, он приехал с сёстрами Анной и Августой (Анна получила среднее медицинское образование, а Августа окончила Академию художеств). Стипендию Александр Попов получал только на пер-

вом и третьем курсах и свои финансовые проблемы решал репетиторством. Кстати, репетиторство стало причиной знакомства Попова с его будущей женой Раисой Алексеевной Богдановой (1860–1932), ставшей одной из первых в России дипломированных женщин-врачей. 18 ноября 1883 года А. С. Попов с ней обвенчался.

В ноябре 1882 года А. С. Попов окончил университет и после представления диссертации на тему «О принципах динамоэлектрических машин постоянного тока» (январь 1883 года), заслужившей высокую оценку, получил диплом кандидата. Его первая научная статья по материалам диссертации была опубликована в сентябрьском номере журнала «Электричество» за 1883 год. По решению учёного совета А. Попов был оставлен в университете для подготовки к профессорскому званию. Однако летом 1883 года он принял приглашение занять место преподавателя и заведующего физическим кабинетом в Минном офицерском классе в Кронштадте, который имел прекрасно оборудованный физический кабинет и хорошую библиотеку.

Начало работ А. С. Попова в области беспроводной связи относится к 1889 году. В 1887 году были опубликованы две статьи немецкого физика Г. Герца о результатах его экспериментальных работ, подтвердивших справедливость теории Д. К. Максвелла. В 1890 году А. С. Попов прочитал цикл лекций о распространении электромагнитных волн с демонстрацией опытов Герца, объединённых общим названием «Новейшие исследования о соотношении между световыми и электрическими явлениями». Но наибольший интерес для Попова в то время представляла задача создания системы передачи сигналов без проводов для флота. Источником высокочастотных затухающих электромагнитных колебаний – передатчиком – в опытах Попова служил модернизированный им вибратор Герца с искровым разрядником, питаемым от катушки Румкорфа



Рис. 1. Изобретатель радио А. С. Попов (1859–1906)

(высокочастотного трансформатора). Специальное устройство – прерыватель – обеспечивало подачу на катушку последовательности импульсов тока с частотой, необходимой для генерирования серий высокочастотных затухающих колебаний разной длительности (короткой и длинной). Но главной проблемой для А. С. Попова стало создание прибора, способного принимать высокочастотные электромагнитные импульсы. Первое, что ему удалось, это повторить опыты с созданным в 1890 году французским учёным Бранли прибором, который представлял собой трубочку с металлическими опилками, сопротивление которых изменялось под воздействием электромагнитных волн. Однако такой прибор терял чувствительность после одноразового облучения электромагнитными колебаниями. Английский физик О. Лодж усовершенствовал прибор Бранли (1894 год), подсоединив к нему механическое устройство для периодического встряхивания опилок, назвав его когерер. Однако эти встряхивания производились вне какой-либо связи с передачей электромагнитных излучений, поэтому такой способ не обеспечивал надёжного приёма, и А. С. Попов продолжил поиск нового решения. Вскоре ему это удалось. Он предложил новую схему автоматического восстановления чувствительности когерера [2]. В цепь с когерером было включено реле, обеспечивавшее подключение исполнительного устройства – электрического звонка, молоточек которого бил по трубочке, встряхивая опилки и восстанавливая сопротивление когерера после приёма каждой передачи затухающих электромагнитных колебаний. В зависимости от времени замыкания телеграфного ключа прерывателя передача могла быть короткой или продолжительной. Задача обеспечения беспроводного телеграфирования была принципиально решена. 7 мая 1895 года на заседании Физического отделения РФХО Попов выступил с докладом «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям», в котором изложил результаты проведённых им исследований и продемонстрировал способность изобретённого им прибора принимать последовательность «коротких и продолжительных сигналов», то есть, по существу, производить передачу элементов азбуки Морзе. Этот день отмечается у нас в стране как День радио.

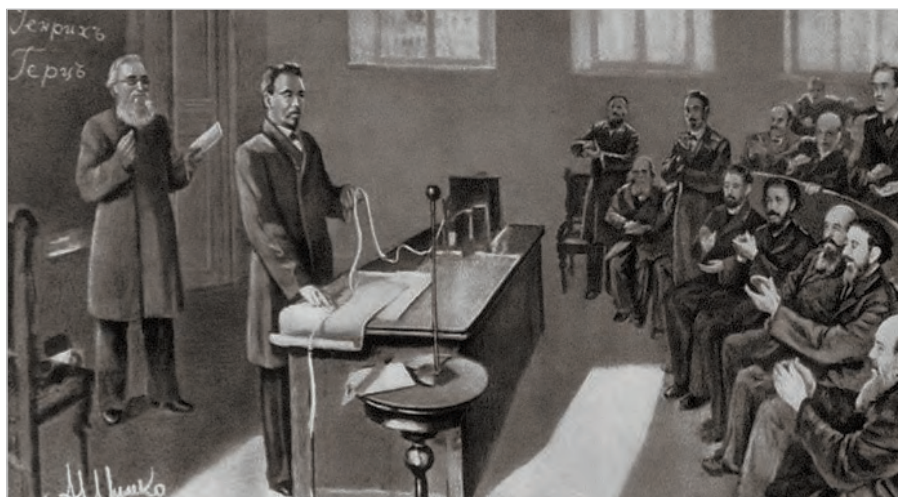


Рис. 2. А. С. Попов принимает первую в мире радиogramму. С картины художника А. Шимко.

Зимой 1895–1896 годов Попов занимался совершенствованием радиоаппаратуры. 24 марта 1896 года он выступил на очередном заседании РФХО. В этот раз связь была установлена между зданиями Петербургского университета, расположенными на расстоянии 250 м. При этом были переданы азбукой Морзе слова Heinrich Hertz.

ПОДРОБНОСТИ ИСТОРИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ 24 МАРТА 1896 ГОДА

Вот мы и подошли к важному моменту в жизни А. С. Попова. Этому событию исполнилось в марте 2021 года 125 лет и о нём стоит рассказать подробнее. Воспользуемся записями ассистента и соратника А. С. Попова известного русского радиотехника Петра Николаевича Рыбкина (1864–1948) из его книги «Десять лет с изобретателем радио: страницы воспоминаний» [3]: «Демонстрации опытов с применением для передачи по радио телеграфного аппарата предшествовало небольшое вступительное слово изобретателя, в котором Александр Степанович объяснил устройство нового приёмника. Затем начались опыты. У доски в физической аудитории стоял наш общий учитель, всеми любимый профессор Фёдор Фомич Петрушевский. Он держал в руках листок бумаги с ключом азбуки Морзе и кусок мела. После каждого передаваемого знака Фёдор Фомич смотрел в бумагу и затем записывал на доске соответствующую букву. Вскоре собравшиеся могли прочитать на доске слова: <Heinrich Hertz>. Это был текст первой в мире радиogramмы». А вот как через 10 лет, в 1906 году, об этом событии вспоминал живой свидетель передачи первой в мире радиogramмы О. Д. Хвольсон: «Станция отправления

была устроена в зале химической лаборатории Петербургского университета, приёмная станция – в зале заседаний, в старом физическом кабинете. Передача происходила таким образом, что буквы передавались по алфавиту Морзе и притом знаки были ясно слышны. У доски стоял председатель российского Физического общества профессор Фёдор Фомич Петрушевский (1828–1904), имея в руках бумагу с ключом к алфавиту Морзе и кусок мела. После каждого передаваемого знака он смотрел в бумагу и затем записывал на доске соответствующую букву. Постепенно на доске получились слова <Heinrich Hertz> и притом латинскими буквами. Трудно описать восторг многочисленных присутствующих и овации А. С. Попову, когда эти два слова были написаны» [4]. Ниже приводится картина Александра Шимко, воспроизводящая этот торжественный момент (см. рис. 2). На ней имеется одна неточность: текст радиogramмы на доске тогда был на латинице. Телеграфная лента с этим текстом долго хранилась у участника этого заседания профессора В.К. Лебединского (1868–1937), пока во время Первой мировой войны не погибла с его библиотекой в Риге. В статье, опубликованной в журнале «Радиотехник», (№ 8 за 1919 год) Пётр Николаевич Рыбкин, рассказывая об опытах с телеграфированием по радио, пишет следующее: «Реле, приготовленное собственными средствами из чувствительного вольтметра, дало возможность принимать сигналы при помощи телеграфного аппарата». Возникает вопрос, о каком реле ведёт речь П.Н. Рыбкин. И в чём состояло отличие приёмника Попова образца 1896 года от приёмника образца 1895 года. Схема первого приёмника А. С. Попова из ста-

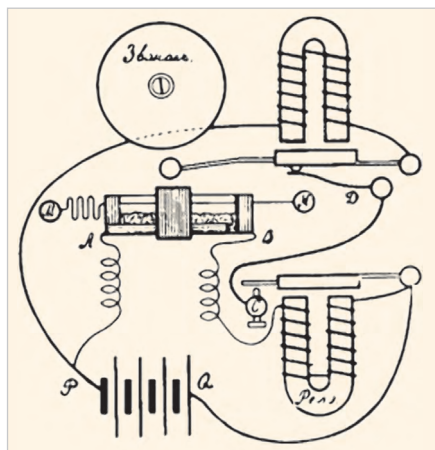


Рис. 3. Схема первого радиоприёмника А. С. Попова с одной батареей и двумя электромагнитными реле

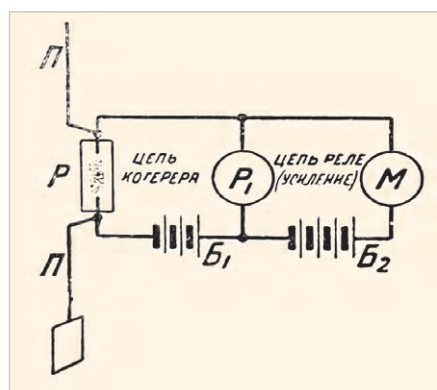


Рис. 6. Упрощённая схема приёмника А. С. Попова с релейным усилением

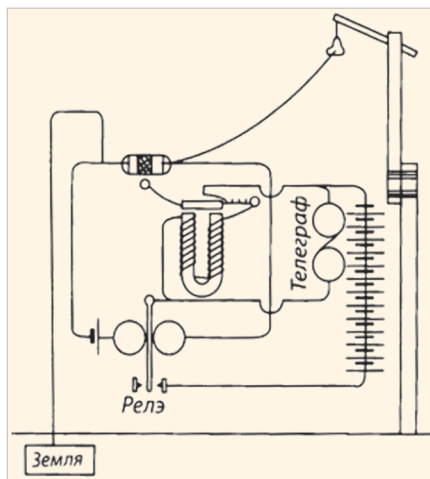


Рис. 4. Приёмник А. С. Попова с двумя разными реле

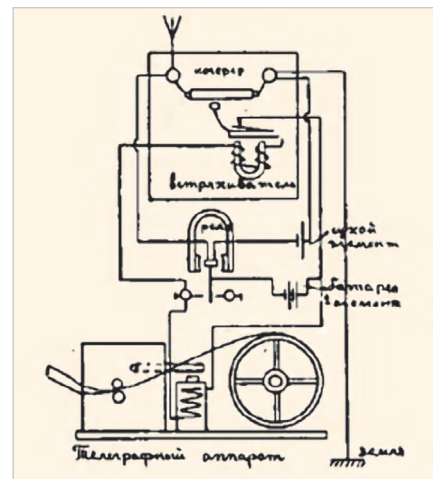


Рис. 5. Схема приёмника с телеграфным аппаратом

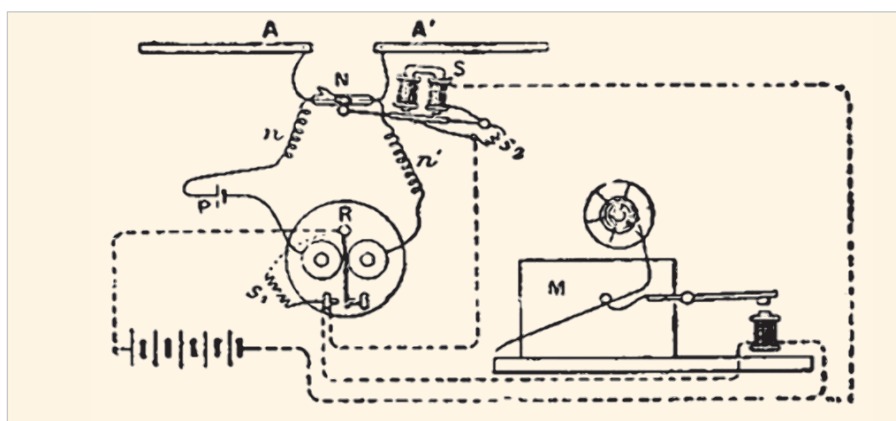


Рис. 7. Схема приёмника Г. Маркони из его патента, полученного в 1897 году

тии, опубликованной в журнале РФХО (№ 1, 1896 год), представлена на рис. 3.

А теперь приведём схему приёмника А. С. Попова с двумя разными реле, первое из которых магнитоэлектрического типа, работающее от низковольтного источника питания, а второе – более мощное реле с питанием от более высокого источника питания. Подтверждение использования такой схемы приводится в докладе А. С. Попова «О телеграфировании без проводов», сделанном в 1897 году в Петербургском электротехническом институте [5], в докладе он отмечает: «Есть и ещё средства для увеличения чувствительности приёмника, а именно – увеличение чувствительности реле, употребляемого в цепи с чувствительной трубкой». Схему с двумя реле (см. рис. 4) А. С. Попов опубликовал и в более позднем докладе [6].

Ещё одна подобная схема радиоприёмника А. С. Попова, опубликованная в статье председателя Кронштадтского отделения Общества друзей радио Петра Михайловича Лукьянова в журнале «Друг радио» (№ 7 за 1925 год), приведена на рисунке 5. В статье «Радио и его изобретение» в журнале «Радиолобитель» за

1925 год профессор Виктор Константинович Лебединский особенно выделил главное достижение А. С. Попова при построении приёмно-передающей аппаратуры в 1896 году: применение двухступенчатой схемы приёмного устройства. Он приводит такую упрощённую схему с двумя ступенями релейного усиления и двумя источниками питания: мало мощного B_1 и мощного B_2 . Первая ступень обеспечивает работу когерера и срабатывание первого высокочувствительного реле P_1 . Вторая ступень позволяет подключать звонок для восстановления когерера R и телеграфного аппарата M . Верхний провод Π – антенна, нижний Π – заземление (см. рис. 6).

А теперь объясним, почему так важно детализировать устройство приёмника, применённого при передаче первой в мире радиограммы. Дело в том, что Маркони в своём патенте повторяет не первую схему А. С. Попова образца 1895 года с одним источником питания, а именно двухкаскадную схему приёмника А. С. Попова с двумя батареями. Это лишний раз подчёркивает приоритет А. С. Попова в изобретении радио как в 1895 году во время первой

публичной демонстрации радиопередачи 7 мая, так и в 1896 году во время передачи первой в мире радиограммы.

Надо подчеркнуть, что у схемы Г. Маркони в патенте, полученном им в 1897 году, имеется единственное отличие от схемы А. С. Попова в том, что у Попова чувствительное реле в цепи когерера магнитоэлектрическое. В нём состояние коммутируемых контактов зависит от поворота рамки при протекании тока в её обмотке в поле постоянного магнита, а у Маркони, как он сам пишет в описании патента, реле поляризованное, в котором состояние коммутируемых контактов зависит от направления протекания тока в обмотке его электромагнита, то есть от полярности его подключения. Магнитоэлектрическое реле более чувствительно, чем поляризованное. Схема приёмника Маркони из его первого патента GB189612039A [7] имеет вид, приведённый на рис. 7.

Вернёмся к биографии А. С. Попова. Приведу его дальнейшие открытия и изобретения.

В 1898 году фирма «Дюкрите» выпускает первую партию радиостанций

конструкции А. С. Попова для Военно-морского флота России. Но самое главное, от телеграфной беспроводной связи А. С. Попов переходит к радиотелефонной радиосвязи, и на построенный им «приёмник депеш» с телефонными трубками А. С. Попов получает привилегию (так назывался в России патент) № 6066 с приоритетом от 26 июля 1899 года [8].

В начале 1900 года А. С. Попов и П. Н. Рыбкин при участии морских офицеров А. А. Реммерта и И. И. Залевского руководят постройкой практической линии радиосвязи для организации работ по ликвидации последствий аварии броненосца «Генерал-адмирал Апраксин», севшего на камни у о. Гогланд в Финском заливе в результате навигационной ошибки. Остров не имел телеграфного сообщения с берегом, поэтому встал вопрос, как руководить спасательными работами, начинать которые надо было без промедления, иначе весенние льды могли окончательно разрушить корабль. По предложению Морского технического комитета было решено использовать радиосвязь. К месту аварии ледокол «Ермак» доставил снаряжение для

радиостанции: разборный дом, мачту для антенны и радиоаппаратуру. На борту «Ермака» на Гогланд прибыл П. Н. Рыбкин. Другая радиостанция устанавливалась под руководством А. С. Попова на берегу Финского залива, вблизи г. Котка, имевшего телеграфную проводную связь с Петербургом. Обе станции строились в тяжелейших условиях, при сильных морозах и метелях. Но благодаря героическим усилиям русских матросов строительство радиостанций и мачт было закончено в короткий срок. 24 января 1900 г. радиосвязь между о. Гогланд и г. Котка была установлена. И первая же радиограмма, отправленная А. С. Поповым и принятая П. Н. Рыбкиным, содержала призыв о помощи рыбакам, унесённым на оторвавшейся льдине в открытое море. Спасать рыбаков мог только ледокол «Ермак», стоявший у Гогланда, а передать ему сообщение мог только Попов и только по радио. Получив радиограмму, капитан «Ермака» приказал поднимать пары, и вскоре ледокол вышел в море на поиски рыбаков, о чём П. Н. Рыбкин в ответной телеграмме сообщил Попову. К вечеру 25 января «Ермак» вернулся с 27 рыбаками на борту. Таким обра-

зом, изобретение А. С. Попова при первом же его практическом применении послужило гуманной цели – спасению попавших в беду людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

13 января 2021 года исполнилось 115 лет со дня скорпостижной кончины Александра Степановича Попова. Ему не было и 47 лет. Он был в расцвете своих творческих замыслов и планов. В сентябре 1905 года он прочитал лекцию на заседании РФХО «О волномерах, служащих для измерения длины электромагнитных волн или их периода колебаний». Он занимался исследованием электромагнитных колебаний с помощью трубки Брауна. В октябре он был избран директором Электротехнического института, и вдруг такой трагический исход. Отпевали Попова 16 января 1906 года в храме Спаса Преображения Господня, что на Инструментальной улице. Траурная процессия с Аптекарского проспекта через весь город прошла на старейшее Волковское кладбище. Здесь было сооружено надгробие с оградой и мраморной плитой, на которой выбита надпись: «Изобретатель радиотелеграфа про-



innodisk

SATADOM — ИДЕАЛЬНОЕ ЗАГРУЗОЧНОЕ РЕШЕНИЕ

Компактные твердотельные накопители с интерфейсом SATA III с высокой скоростью передачи данных

ProSoft®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Реклама



Рис. 8. Памятник А. С. Попову около МГУ

фессор Александр Степанович Попов (1859–1905)». Уже при советской власти, 9 июня 1972 года, на Волковском кладбище состоялось открытие созданного скульптором М. Т. Литовченко и архитектором С. М. Михайловым памятника А. С. Попову. В 1954 году в Москве на аллее учёных, что при МГУ имени Ломоносова, был торжественно открыт памятник А. С. Попову, ставший одним из 12 бюстов, установленных на аллее славы русских учёных (см. рис. 8).

Завершить это печальное заключение автор хотел бы фотографией скульптурного барельефа А. С. Попова. Барельеф украшает в Москве вестибюль станции метро «Электрозаводская»

ская» (см. рис. 9). Прежде всего, это важно для автора, потому что 16 марта 1979 года он впервые прошёл мимо барельефа А. С. Попову, направляясь на работу в ставший ему родным Всероссийский НИИ радиотехники, в котором он работает и поныне. Всякий раз при виде барельефа А. С. Попова вспоминаются как его духовное наследие слова нашего великого соотечественника: «Я русский человек и все свои знания, весь свой труд, все свои достижения имею право отдать только моей Родине».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартенев В. Г. Россия – родина Радио. Исторические очерки. М.: Горячая линия телеком, 2014.
2. Попов А. С. О телеграфировании без проводов. Из истории изобретения и начального периода развития радиосвязи; сб. док. и материалов: сост. Л. И. Золотинкина, Ю. Е. Лавренко, В. М. Пестриков под ред. проф. В.Н. Ушакова. СПб: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2008.
3. Рыбкин П. Н. Десять лет с изобретателем радио: страницы воспоминаний. М. Связьиздат. 1945.



Рис. 9. Барельеф А. С. Попову на станции метро «Электрозаводская»

4. Попов А. С. Сборник документов. М.-Л. изд-во АН СССР. 1945.
5. Попов А. С. О телеграфировании без проводов. СПб. Изд-во Арнольда. 1897.
6. Попов А. С. Телеграфирование без проводов. СПб. Труды Первого Всероссийского электротехнического съезда. Т. 2. 1901.
7. Патент Маркони «Improvement in transmitting electrical impulses and signal and apparatus therefor» <https://patents.google.com/patent/GB189612039A/en>.
8. Бартенев В. Г. Забытое изобретение А. С. Попова, или Первый в мире детекторный радиоприёмник. Современная электроника. № 3. 2014.



ЖАЖДА СКОРОСТИ

РАЗЪЁМ HAR-SPEED M12 В SLIM-КОРПУСЕ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

КОМПАКТНЫЙ КОРПУС РАЗЪЁМА
ДИАМЕТР КАБЕЛЯ 4,5–8,8 мм

ДОСТУПНЫ КОРПУСА
БЫСТРОЙ ФИКСАЦИИ PUSH/PULL

IP65 IP67

ПОЛНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ,
ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИЙ, ПЫЛИ И ВЛАГИ

X-КОДИРОВКА В СООТВЕТСТВИИ С IEC 61076-2-109
СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДО 10 ГБИТ/С

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIPRU ■ WWW.PROCHIPRU



23-я Международная выставка
электронных компонентов, модулей
и комплектующих

expoelectronica.ru



18-я Международная выставка
технологий, оборудования и материалов
для производства изделий электронной
и электротехнической промышленности

electrontechexpo.ru

13–15 апреля 2021

Москва, Крокус Экспо

Получите Ваш
бесплатный билет
по промокоду **ee21print**



Реклама



POWER ELECTRONICS



18-я Международная выставка
компонентов и модулей
силовой электроники

26–28 октября 2021
Москва, Крокус Экспо

Силовая Электроника

Единственная в России
специализированная
выставка компонентов
и модулей силовой электроники
для различных отраслей
промышленности

Организатор — компания MVK
Офис в Санкт-Петербурге

MVK Международная
Выставочная
Компания

+7 (812) 380 6000
power@mvk.ru

Запросите
условия участия:

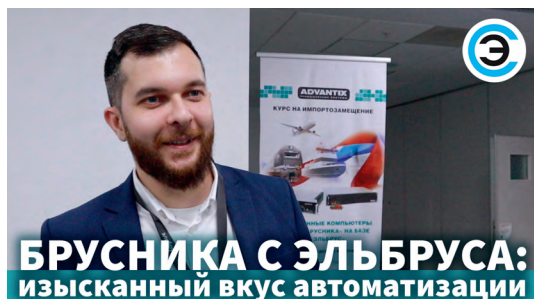
powerelectronics.ru

12+
Реклама



Смотрите на YouTube-канале **СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

**БРУСНИКА С ЭЛЬБУСА:
ИЗЫСКАННЫЙ ВКУС АВТОМАТИЗАЦИИ**



ADVANTIX

«...это идеальный для применения в АСУ
ТП и один из самых успешных наших
продуктов...»

JTAG ДЛЯ ПОКОРИТЕЛЕЙ «ЭЛЬБУСА»



JTAG TECHNOLOGIES

«... к сожалению, на сегодняшний момент
процессоры «Байкал» не поддерживают
технологии периферийного
сканирования...»

17 марта «Современная электроника» принимала участие в форуме, организованном компанией Keysight Technologies. Форум был посвящён вопросам развития технологий 5G в России, а его участники являются законодателями российского рынка электроники и телекоммуникаций. В частности, нам удалось побеседовать с представителями Keysight, МТС, DMTel, а также с преподавателями Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Скоро ли 5G станет доступна на потребительском рынке?

Какие сложности возникают при внедрении 5G в России?

Какие планы у ключевых игроков рынка телекоммуникаций?

Обо всём этом – в новых роликах на YouTube-канале **СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**



Смотрите на нашем канале эксклюзивные интервью с форума Keysight Technologies

«5G в России: как создается сеть и новая инфраструктура»

Поверьте и настройте Ваши СИ в ЦСМ **Keysight**



Ваши технические системы, критически важные для решения ответственных задач, должны обеспечивать безотказную работу в любых условиях. Именно поэтому Центр Сервиса и Метрологии Keysight получил аккредитацию на право поверки СИ и готов обеспечивать комплексное ТО измерительных приборов Keysight, Agilent, HP.

Оригинальные запчасти, автоматизированные ПО для проведения полного тестирования, калибровки и настройки СИ по методике завода-изготовителя, опытный персонал - все это позволяет выполнять полное обслуживание СИ в соответствии с требованиями завода-изготовителя максимально качественно и в сжатые сроки. Будьте уверены в точности Ваших измерений и надёжности Вашей продукции!

Аттестат Аккредитации ООО «Кейсайт
Текнолоджиз» (ЦСМ Keysight) на право
поверки СИ № RA.RU.310579 от 02.02.2015

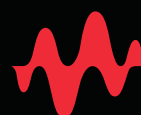
80
лет

опыта в электронных
измерениях

50
лет

сотрудничества и
инноваций в России

www.keysight.com/find/poverka



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

Реклама