

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

3
2011

В НОМЕРЕ

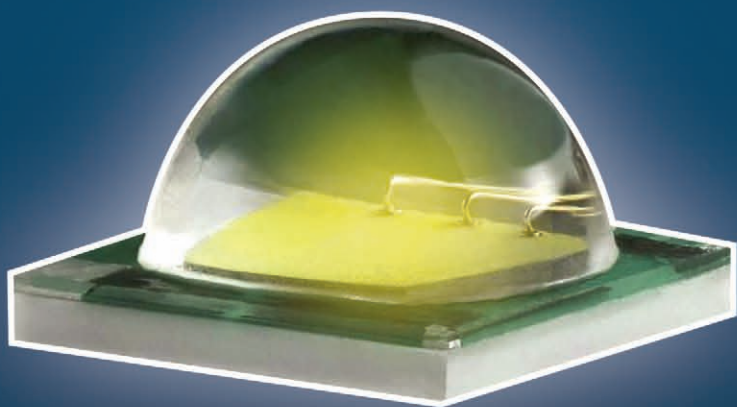
Динамика космических технологий
DC/DC-преобразователи для авиации и космоса
Микросхема для датчиков
космической аппаратуры
Высокостабильные миниатюрные
кварцевые генераторы
Новые измерительные приборы
и многое другое

CREE 

www.cree.com



РЕКОРДНАЯ СВЕТООТДАЧА 160 ЛМ/ВТ



- Светоотдача до 160 лм/Вт (при токе 350 мА)
- Световой поток до 910 лм (при токе 3 А)
- Максимальный ток 3 А
- Тепловое сопротивление 2,5°С/Вт
- Размер основания 5 x 5 мм

Новый светодиод XLamp XM-L

Реклама

Москва
Тел.: (495) 995-0901 доб. 2393
Факс: (495) 995-0902
E-mail: svet.msk@compel.ru

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-9404 доб. 4339
Факс: (812) 327-9403
E-mail: svet.spb@compel.ru

 **Компэл**
www.compel.ru

19 – 21 АПРЕЛЯ + МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР
НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ

главная
российская
выставка
электронных
компонентов
и модулей

ВЕДУЩИЕ РОССИЙСКИЕ
ПОСТАВЩИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ
КОМПОНЕНТОВ И МОДУЛЕЙ
НА ДЕЛОВОМ ФОРУМЕ И ВЫСТАВКЕ
«НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА / РОССИЯ»

- новая продукция мировых технологических лидеров
- новые сервисы для разработчиков и производителей электронной аппаратуры
- новые программы сотрудничества

Симметрон
ГРУППА КОМПАНИЙ

Фаворит-ЭК
a FEK company
www.favorit-ec.ru

MTsystem
www.mt-system.ru

ГРУППА КОМПАНИЙ
ЗАКОН

ЮЕ-Интернейшнл

АЛЬТОНИКА

Macro Team

RCM GROUP
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

АЭ
АМИТРОН
ЭЛЕКТРОНИКА

едт
ЭКТ
ЕСТЬ КОНТАКТ

Компэл

ЭЛЕХ

TECHNO

ТОЧКА ОПОРЫ

Petro in Trade

ГАЛАНТ
электроникс

АБРИС

МАКРО
ГРУППА

эфо
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИКА

www.platan.ru
ПЛАТАН

АТПП.

PROMELECTRONICS

Главный редактор
Александр Майстренко

Зам. главного редактора
Татьяна Крюк

Редакционная коллегия
Александр Балакирев, Андрей Данилов,
Виктор Жданкин, Сергей Сорокин

Вёрстка
Олеся Фрейберг

Обложка
Дмитрий Юсим

Служба распространения
(info@soel.ru)
Ирина Лобанова

Служба рекламы
(advert@soel.ru)
Ирина Савина

Издательство «СТА-ПРЕСС»
Директор Константин Седов
Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26
Телефон: (495) 232-0087
Факс: (495) 232-1653
Сайт: www.soel.ru
E-mail: info@soel.ru

Журнал выходит 9 раз в год

Тираж 10 000 экземпляров
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 года)
Свидетельство № 00271-000
о внесении в Реестр надёжных партнеров
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации
Цена договорная

Отпечатано:
ООО ПО «Периодика»
Адрес: 105005, Москва, Гарднеровский пер.,
д. 3, стр. 4
http://www.printshop13.ru

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.
© СТА-ПРЕСС, 2011

3/2011 Contents

MARKET

News from the Russian Market	4
Standardization of Modular Systems: A Way of Industrial Electronics Market Advancement.	8

Mark Novodachnyi

MODERN TECHNOLOGIES

Evolution of Space Technology: Systems in Package	16
--	----

Nikolai Danilin, Dimitr Dimitrov, Il'yas Sabirov, Daniil Belov

ELEMENTS AND COMPONENTS

POL DC/DC Converters Intended for Aviation and Space Equipment	20
---	----

Viktor Zhdankin

Thin-film Platinum Sensors of Resistive Thermometers: Assembly and Operation	28
---	----

Aleksandr Yadevich

High-Stable Miniature and Subminiature Quartz Crystal Oscillators	32
--	----

Anatolii Kutalev

Phoenix Contact Miniconnectors for PCB	34
---	----

Aleksandr Ason, Lukas Mut

DEVICES AND SYSTEMS

Hall-Effect Magnetometers	38
--	----

Igor Buslov, Valerii Bautkin, Aleksandr Drapezo, Nikolai Slobozhanyuk, Andrei Luk'yanov, Vyacheslav Yarmolovich

ScopeMeter® 190 Series II Four-Channel Oscilloscope	42
--	----

Henk Coppelmans

SPECTRAN® Portable Spectrum Analyzer	46
---	----

Oleg Efimov

PRACTICAL ELECTRONICS

High-Side Current Sensing with Wide Dynamic Range: Three Solutions	50
---	----

Neil Zhao, Wenshuai Liao and Henri Sino

DESIGN AND SIMULATION

Universal Analog IC for Space Equipment Sensors	56
--	----

Oleg Dvornikov, Vladimir Chekhovskii, Valentin Dyatlov

Minimization of Energy Consumption by FPGA-Based Systems	66
---	----

Vladimir Vychuzhanin

THEORY

Synthesis of Mass-Elastic Control Systems from Desired Transient Response	72
--	----

Natal'ya Gudkova, Vladimir Chuikov

EVENTS

LEDs Occupy Russia	78
-------------------------------------	----

Содержание 3/2011

РЫНОК

- 4** **Новости российского рынка**
8 **Стандартизация модульных систем как инструмент развития рынка промышленной электроники**
Марк Новодачный

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 16** **Динамика космических технологий: микросистемы в корпусе**
Николай Данилин, Димитр Димитров, Ильяс Сабилов, Даниил Белов

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 20** **DC/DC-преобразователи типа POL для применения в аппаратуре авиационной и космической техники**
Виктор Жданкин
28 **Тонкоплёночные платиновые чувствительные элементы термометров сопротивления при монтаже и эксплуатации**
Александр Ядевич
32 **Высокостабильные миниатюрные и сверхминиатюрные кварцевые генераторы**
Анатолий Куталев
34 **Миниатюрные соединители для печатных плат фирмы Phoenix Contact**
Александр Асон, Лукас Мут

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 38** **Магнитометры на эффекте Холла**
Игорь Буслов, Валерий Бауткин, Александр Драпезо, Николай Слобожанюк, Андрей Лукьянов, Вячеслав Яромлович
42 **Представляем четырёхканальный осциллограф ScopeMeter® 190 серии II**
Хенк Коппельманс
46 **Портативные анализаторы спектра SPECTRAN®**
Олег Ефимов

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

- 50** **Измерение тока в широком динамическом диапазоне: три схемных решения**
Нил Жао, Веншуай Ляо и Генри Сино

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 56** **Универсальная аналоговая микросхема для датчиков космической аппаратуры**
Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов
66 **Минимизация энергопотребления проектируемых устройств на ПЛИС типа FPGA**
Владимир Вычужанин

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- 72** **Синтез упругомассовых систем управления по желаемой переходной характеристике**
Наталья Гудкова, Владимир Чуйков

СОБЫТИЯ

- 78** **Светодиод шагает по стране**

Уважаемый читатель!

Число бесплатных подписчиков журнала «Современная электроника» неуклонно растёт, соответственно растёт и число рассылаемых по почте журналов. Безусловно, нам приятно осознавать рост читательского интереса к нашему журналу. Но вместе с тем, всё больше подписчиков сообщают нам о фактах пропажи журнала на почте или из почтового ящика.

Редакция гарантирует только отправку журнала бесплатному подписчику, но не может гарантировать его доставку.

Риск пропажи журнала можно уменьшить. Во-первых, можно обратиться в отдел доставки вашего почтового отделения и оформить получение журнала до востребования. Во-вторых, можно оформить платную подписку на журнал, и в этом случае почта будет нести ответственность за его доставку.

Преимущества платной подписки:

- подписаться может любой желающий, тогда как бесплатная подписка оформляется только для специалистов в области электроники. Поступающие в редакцию подписные анкеты тщательно обрабатываются, и часть их отсеивается;
- журнал будет гарантированно доставлен, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- эту подписку могут оформить иностранные граждане.

«Роспечать»

Оформить платную подписку можно в почтовом отделении через агентство «Роспечать». Тел.: (495) 921-2550. Факс: (495) 785-1470

Подписаться можно как на 6 месяцев, так и на год. Подписные индексы по каталогу агентства «Роспечать»: на полугодие – **46459**, на год – **36280**.

Кроме того, можно оформить платную подписку через альтернативные подписные агентства.

«Артос-ГАЛ»

тел.: (495) 981-0324, 788-3988
artos-gal@mail.ru

«Интер-Почта-2003»

тел./факс: (495) 500-0060; 788-0060
interpochta@interpochta.ru
http://www.interpochta.ru

«Орикон-М»

тел./факс: (495) 663-3054
oricon@sovintel.ru

«Урал-Пресс»

http://www.ural-press.ru

Читатели из дальнего зарубежья могут оформить подписку через агентство

«МК-Периодика»

тел.: +7 (495) 672-7012
факс: +7 (495) 306-3757
info@periodicals.ru

Новости российского рынка

Элементы и компоненты

Общепромышленные источники питания

Фирма «Электропривод» начала поставки импульсных источников питания фирмы PowerLD 5, 12, 24, 36, 48, 72 В. Мощность 5...1000 Вт. Защита: от перегрузки по мощности 130% ± 20%, повышенного напряжения, короткого замыкания. Область приме-



нения: радиоаппаратура, управление технологическими процессами, медицинское оборудование, светодиодные светильники, нефтегазовая и химическая промышленность. Продукция аналогична продукции компании Mean Well. Привлекательная цена.

<http://powerld.ru/>; <http://electroprivod.ru/>
Тел.: (812) 703-0981 (495) 649-8726

Качественно новые высокочастотные малошумящие прецизионные кварцевые генераторы

ОАО «МОРИОН» (Санкт-Петербург) представляет качественно новые высокочастотные малошумящие прецизионные кварцевые генераторы. Это выпускаемые в категории качества ВП вибро-акустоустойчивые прецизионные генераторы – ГК148-ТС и ГК213-ТС:

- ГК148-ТС: его ключевой особенностью является отсутствие собственных механических резонансных частот конструкции в диапазоне до 2 кГц, что позволяет существенно снизить уровень фазовых шумов при воздействии широкополосной случайной вибрации (ШСВ). Прибор обеспечивает температурную стабильность частоты 5×10^{-7} в интервале рабочих температур $-50...+70^\circ\text{C}$ и долговременную стабильность частоты 5×10^{-7} за год. Напряжение питания – 12 В, выходной сиг-



нал – SIN. Прибор доступен к поставке в диапазоне частот от 56 до 100 МГц;

- ГК213-ТС: у данного прибора деградация фазовых шумов при воздействиях ШСВ практически отсутствует. Реализованный уровень фазовых шумов ≤ -135 дБ/Гц для отстройки 100 Гц и ≤ -160 дБ/Гц для отстройки 10 кГц. ГК213-ТС обеспечивает стабильность частоты до 1×10^{-7} в интервале рабочих температур $-55...+70^\circ\text{C}$ и долговременную стабильность частоты до 3×10^{-7} за год. Диапазон частот 48...100 МГц. Основные стандартные частоты 48, 56, 60 и 100 МГц.

Уникальные характеристики по уровню фазовых шумов в условиях жёстких механических воздействий делают указанные генераторы эффективнейшим решением для применения в различных типах наземного и бортового радиолокационного и другого оборудования, а также для любых видов синтезаторов частот.

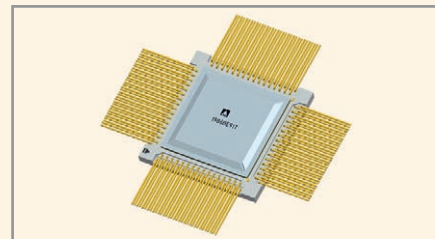
Дополнительная информация об этих и других новых приборах доступна на обновлённом сайте ОАО «МОРИОН» www.morion.com.ru.

www.morion.com.ru

Тел.: (812) 350-7572, (812) 350-9243

Первый российский 32-разрядный микроконтроллер с ядром ARM Cortex – M3!

В конце 2008 г. российский дизайн-центр ЗАО «ПКК Миландр» приобрёл у компании ARM исходные коды 32-разрядного микропроцессорного ядра ARM® Cortex™-M3. К концу 2010 г. уже был закончен ОКР по созданию линейки микроконтроллеров на основе данного ядра, которая получила наименование 1986BE. Первые микросхемы, предназначенные для создания техники двойного назначения, авиакосмической аппаратуры и прочих ответственных применений, а также для эксплуатации в тяжёлых условиях и имеющие рабочий температурный диапазон от -60 до $+125^\circ\text{C}$, выйдут в 132-выводном, 64-выводном и 48-выводном корпусах. Выпуск микросхем на гражданский рынок в пластиковом корпусе (144-выводном и 64-выводном) запланирован на сентябрь 2011 г. Эти микросхемы будут также обладать крайне достойным для данного вида микроконтроллеров рабочим температурным диапазоном от -40 до $+85^\circ\text{C}$. Функционал в данных микросхемах соответствует импортным аналогам микроконтроллеров с подобным ядром и даже превосходит многие из них! По цене



микросхемы для гражданского рынка также не будут отличаться от импортных и будут доступны рядовым пользователям. Отладочные средства, среда разработки, компиляторы и т.д. под микросхемы для ответственных и гражданских применений уже поставляются предприятием – изготовителем микросхем ЗАО «ПКК Миландр».

www.milandr.ru

Тел.: (495) 981-5433

Высокомощные многокристальные светодиодные модули

Светодиодные модули Edison Opto EdiPower II – это многокристальные высокоомощные источники света, предназначенные для использования в системах внутреннего и уличного освещения, архитектурной и ландшафтной подсветки.



Линейка EdiPower II включает в себя модули с потреблением 4...6 Вт (6 кристаллов), 8...15 Вт (16 кристаллов), 16...24 Вт (25 кристаллов) и 30...50 Вт (49 кристаллов). Достижимое значение светового потока для каждого типа модулей составляет соответственно 540, 1400, 2050 и 4100 лм. Размеры модулей: 16 × 14 мм, 25 × 23 мм (для модулей мощностью 8...24 Вт) и 37 × 35 мм.

Кроме модулей с различными цветовыми температурами белого излучения, для заказа доступны решения и других цветов, согласно потребности заказчика. Высокий коэффициент цветопередачи позволяет применять модули EdiPower II, к примеру, для получения особых световых эффектов при создании интерьера либо при оформлении праздничных мероприятий.

Более подробную информацию о продукции и консультацию можно получить на стенде компании РСР (F30) во время проведения выставки Экспо-Электроника-2011.

www.rssp.ru

Тел.: (495) 781-2162

Новости российского рынка

Новые 4,3" TFT ЖК-дисплеи с яркостью 500 кд/м²

Компания Raystar Optronics – известный производитель плоскопанельных дисплеев – начала поставки новых моделей 4,3" TFT ЖК-дисплеев серии RFE43C, которые являются заменой модели серии RFE43A. Модель RFE43C, выполненная на основе активной матрицы управляющих тонкопленочных транзисторов, имеет габариты 105,5 × 67,2 × 5,05 мм, которые подобны размерам RFE43A. Напряжение питания 3,3 В постоянного тока. Разрешение экрана на 480 × RGB × 272 пикселей.



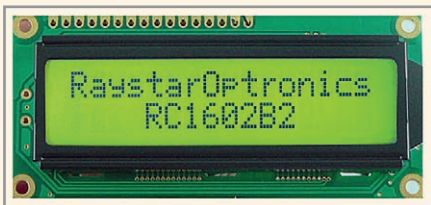
Яркость новой модели RFE43C 500 кд/м² обеспечивается светодиодной подсветкой (яркость модели RFE43A 350 кд/м²), при этом потребляемая мощность новой модели меньше, чем у предыдущей. Поверхность дисплея имеет антибликовое покрытие.

Дисплей может применяться в измерительных, судовых навигационных приборах, а также потребительской электронной аппаратуре.

www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Модуль ЖК-дисплея с высотой корпуса 10 мм

Компания Raystar Optronics – один из известных производителей плоскопанельных дисплеев – начала поставки новых моделей буквенно-цифровых ЖК-индикаторов серии RC1602B2. ЖК-индикаторы, предлагаемые компанией, способны воспроизводить шрифты английского, европейских, японского и русского языков.



Основные технические характеристики:

- габариты модуля: 80 × 36 × 10 мм (макс.);
- видимая область экрана: 60 × 16 мм;
- рабочая площадь экрана: 56,2 × 11,5 мм;
- число знаков: 16 знаков × 2 строки.

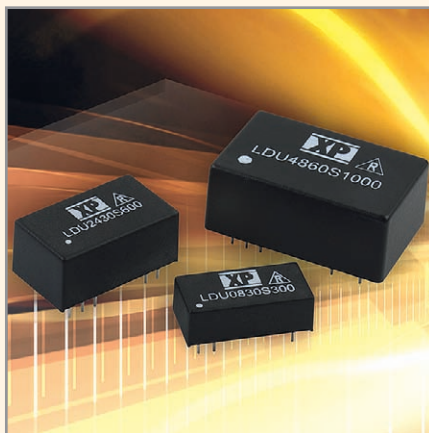
www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Высокоэффективные понижающие DC/DC-драйверы светодиодов с мощностью до 48 Вт

Новые DC/DC-драйверы светодиодов серии LDU48, предлагаемые компанией XP Power, обеспечивают в нагрузке уровни токов в диапазоне от 150 до 1000 мА и оптимизированы для применений со сверхъяркими светодиодами.

Диапазон входных напряжений от 7 до 60 В постоянного тока, выходные напряжения 2...48 В. Этот тип понижающего преобразователя без гальванической развязки вход-выход требует, чтобы входное напряжение было выше выходного на 2 В (минимум). Выходной ток может регулироваться от 25 до 100% переменным резистором, уровнем постоянного напряжения, сигналом с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) через вывод управления.

Модули выпускаются в небольших пластиковых корпусах DIP с размерами 31,75 × 20,32 × 12,45 мм. DC/DC-драйверы светодиодов LDU48 характеризуются КПД до 95% и включают защиту от короткого замыкания светодиодов, а также вход дистанционного включения/выключения.



Диапазон рабочих температур от –40 до +85°C (для модулей с выходными токами 150, 250, 300, 350 мА).

www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Компактные 400-Вт источники питания AC/DC обеспечивают пиковую мощность 600 Вт

Компания XP Power начала поставки компактных высокоэффективных одноканальных источников электропитания серии FCM400, предназначенных для широкого ряда промышленных и ме-



дицинских применений. Оснащенные встроенным малошумящим вентилятором, компактные модули с габаритами 152,4 × 101,6 × 49 мм характеризуются значением удельной мощности 525 Вт/дм³ и КПД 85% (тип.). Модули серии FCM400 имеют наивысшее значение удельной мощности из существующих в мире 400-Вт источников питания, сертифицированных для применения в медицинском оборудовании.

Источники питания FCM400 способны обеспечивать высокую пиковую мощность – свыше 600 Вт в течение 0,5 с. Это качество является важным, когда нагрузка потребляет за короткий промежуток времени ток больше номинального значения, что позволяет применять этот модуль вместо источника с большим номинальным значением номинальной мощности, следовательно, экономить объем и сокращать стоимость.

Предназначенная для работы от сетей переменного тока с широким диапазоном напряжений от 80 до 275 В, серия содержит шесть моделей с номинальными значениями напряжений +12, +15, +24, +28, +36 и 48 В. Функция регулировки выходного напряжения обеспечивает изменение напряжения в пределах ±10% от номинального значения для соответствия требованиям конкретного приложения к выходному напряжению и компенсации падения напряжения на соединительных проводниках в законченной системе.

Модули соответствуют требованиям безопасности, установленным стандартами IEC 60601-1/UL 60601-1 для медицинского электрооборудования и стандартами IEC 60950-1/UL 60950-1 для промышленного и IT оборудования. По требованию к уровню кондуктивных помех

Новости российского рынка

источники питания FCM400 соответствуют стандартам EN 55022/EN 55011, класс В, а по уровню к помехам излучения – классу А, без необходимости применения дополнительных фильтрующих компонентов.

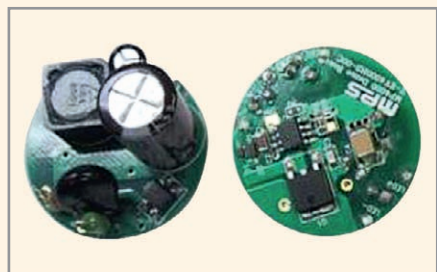
Дополнительный канал +5 В/0,5 А для обеспечения дежурного режима может использоваться для питания логических схем и запоминающих устройств, что избавляет от необходимости разработки и встраивания дополнительного источника напряжения. Сигналы дистанционного включения/выключения, АС ОК и «аварийного состояния выхода» обеспечивают основные функции управления и контроля при встраивании модуля в законченную систему.

Модули FCM400 поддерживаются трёхлетней гарантией.

www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Новый контроллер MP4000 от компании MPS для питания мощных светодиодов

MP4000 – новый контроллер для построения высокоэффективного понижающего преобразователя с использованием внеш-



него MOSFET-ключа, разработанный компанией MPS для питания мощных светодиодов от электрической сети с напряжением 90...265 В. Специальный режим включения внешнего MOSFET-ключа в момент «нулевого тока» увеличивает эффективность преобразования, а также уменьшает электромагнитные помехи. Ток через светодиоды задаётся внешним резистором. Небольшое количество внешних компонентов позволяет поместить драйвер в корпус стандартной галогенной лампы MR16. Микросхема выпускается в корпусе SOIC8.

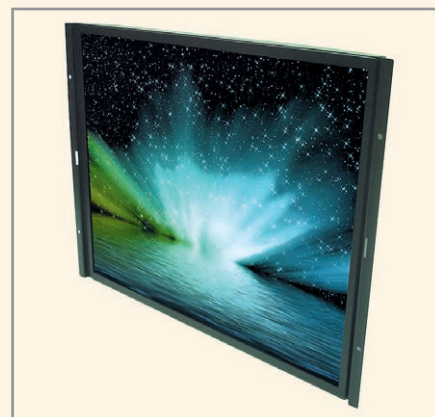
www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Новые 17" TFT ЖК-дисплеи с форматом изображения SXGA и высокой яркостью свечения экрана

Компания Litemax Electronics начала поставки новых моделей 17" TFT ЖК-дисплеев с высокой яркостью свечения экрана 1600 кд/м², обеспечиваемой светодиодной системой подсветки. Яркое свечение экрана позволяет наблюдать изображение при ярком солнечном свете. В конструкции панели дисплея применяются цветные светофильтры с высоким коэффициентом пропускания, поляризаторы с высоким пропусканием.

Предлагаются модели в корпусе (SLD1768-ENB-G02) и открытом шасси (SLO1768-ENB-G02).

Доступны модели с платами управления, обеспечивающими работу с различными источниками видеосигналов (VGA,



DVI, CVBS, S-Video). Формат изображения дисплеев SXGA (разрешение 1280 × 1024 точек), контрастность 1000 : 1, угол обзора в горизонтальной плоскости 170°, в вертикальной плоскости 160°, типичное значение времени электрооптического отклика 5 мс.

Дисплеи предназначены для применения в информационных киосках, торговых терминалах, морской и студийной аппаратуре.

Основные свойства:

- считывание при солнечном свете;
- светодиодная подсветка обеспечивает низкое потребление мощности (32,5 Вт) и постоянную яркость;
- стойкость к воздействию вибрационных и ударных воздействий;
- высокая равномерность (90%);
- низкий уровень электромагнитного излучения;
- широкий диапазон регулировки яркости;
- ресурс 70 000 ч;
- изящная конструкция с профилем 36,2 мм.

www.prosoft.ru
Тел.: (495) 234-0636

Приборы и системы

Инвестиции компании PCBTech в новую систему АОИ позволят контролировать качество монтажа на новом уровне

Компания PCBTech инвестировала в новую систему автоматической оптической инспекции качества монтажа (АОИ) фирмы Omron – VT RNS, Япония. Поставщик системы – компания ООО «РТС Инжиниринг», являющаяся лидером в области поставок технологического оборудования.

Новая система АОИ, установленная на производственной линии PCBTech, способна осуществлять 100-% контроль после каждой из основных технологических операций процесса монтажа электронных

узлов: нанесения паяльной пасты, установки электронных компонентов и пайки.

Особенностью нового оборудования является способность решать наиболее сложную для АОИ задачу – контроль качества паяного соединения.

Такой полный контроль сборочного процесса даст возможность компании PCBTech корректировать технологические режимы производственной линии в процессе сборки и сведёт к минимуму наличие брака.

Система позволяет проверять качество установки и пайки компонентов не только для серийных, но и для опытных заказов (от 10 шт.), включая и поверхностный, и штыревой монтаж.



Внедрение новой системы АОИ позволит компании PCBTech на новом уровне обеспечивать для своих заказчиков качество и гарантии надёжности смонтированных модулей, что особенно важно для сложных и насыщенных печатных узлов.

www.pcbtech.ru
Тел.: 8-800-333-9722

Электроника



Транспорт

2011

Реклама

6-8 апреля 2011 г.
Москва, ВВЦ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

Темы года:



- Навигация, управление транспортным парком
- Оплата проезда - от кондуктора к единой транспортной карте
- Транспортное приборостроение: комплектующие, технологии, решения

По каждой теме - отдельная конференция!



Проводится при поддержке



Одновременно с выставкой:



ЭлектроТранс 2011
РОССИЙСКАЯ ВЫСТАВКА



<http://www.e-transport.ru>

© СТА-ПРЕСС

Стандартизация модульных систем как инструмент развития рынка промышленной электроники

Марк Новоначный (Москва)

В статье обсуждаются процессы стандартизации на основе открытых стандартов и их особенности для встраиваемых систем.

Современная промышленная электроника мигрирует на аппаратные платформы, базовые характеристики которых определяются прилагательными «цифровые» и «программируемые». Конструктивно такое оборудование всё чаще строится либо из блоков (модулей) стандартных форм-факторов, подключаемых к объединительной панели в корпусе (стойке, шасси), либо в виде системного блока ПК на основе материнской компьютерной платы. При этом системный блок в промышленном исполнении отличается от бытового меньшими габаритами, более жёстким корпусом (более стойким к ударным и вибрационным деформациям) с развитым набором конструктивных элементов для рассеивания тепла, специализированными разъёмами для подключения внешнего оборудования, сохраняющими механическую целостность и целостность электрических соединений при воздействии ударов и вибрационных нагрузок.

Особенностью рынка встроенных систем является то, что стандартизация форм-факторов модулей и печатных плат стала важным инструментом обеспечения роста рынка и создания условий конкуренции. Соревнование происходит на уровне качества производства, возможности поставки наиболее полного набора компонентов для интеграции законченной платформы, полноты набора и качества предлагаемых сервисов (адаптация к специальным требованиям заказчика, консультации в части интеграции аппаратной платформы и оптимизации программного обеспечения).

Ниже мы рассмотрим особенности стандартизации в мире встроенных систем, опирающейся на принципы так называемой «открытой стандартизации».

В процессе поддержки жизненного цикла стандарта участвуют три стороны: разработчик стандарта, организация, утверждающая стандарт, и пользователь стандарта. В «директивной» модели стандартизации правила игры определяет организация, утверждающая стандарт и контролирующая его соблюдение. Эта модель успешно работает в базовых отраслях производства, в опасных производствах и в сферах жизни общества, от которых зависит качество жизни каждого гражданина (пищевая промышленность, фармацевтическая промышленность, образование, медицинское обслуживание).

Для развития новых отраслей экономики, в формировании которых принимает участие большое число организаций (компаний), «директивная» стандартизация может оказаться тормозом. Примером является отрасль информационно-компьютерных технологий (ИКТ), к которой относится современная промышленная электроника и встроены системы.

Количество компаний, задействованных в компьютерной отрасли, гораздо больше, чем в металлургии, электроэнергетике или добывающей промышленности. Немногочисленными примерами успешной работы директивной стандартизации в сфере ИКТ являются стандартизация требований к энергопотреблению компьютерной техники и стандартизация требований к защите окружающей среды от вредного влияния электронного производства (ROHS (Restriction of Hazardous Substances) – директива, ограничивающая содержание вредных веществ).

В новых высокотехнологичных отраслях экономики более прогрессивной формой стандартизации может оказаться т.н. «открытая» стандартизация, которая отличается от модели «директивной» стандартизации боль-

шей свободой участия в процессе принятия стандарта всех заинтересованных сторон – разработчика, организации, утверждающей стандарт, и пользователя.

Для открытой стандартизации характерно поддержание долгосрочного взаимного диалога сторон на основе открытых встреч, достижения консенсуса на каждом этапе согласований (что не исключает использования процедуры постановки на голосование спорных вопросов, с одной стороны, и права на апелляцию со стороны несогласных, с другой) и постоянное совершенствование стандарта. При этом открытый стандарт не должен обесценивать уже сделанные инвестиции (т.е. должен обеспечивать обратную совместимость продуктов) и давать односторонние преимущества какому-либо участнику рынка или группе участников.

Открытый стандарт, работая на развитие рынка, не должен препятствовать внутрифирменным инновациям. Для этого, например, используются стандартизованные интерфейсы для сопряжения с внешним окружением. В сфере открытой стандартизации появился новый термин – «открытая архитектура», который относится к системам, чьи внутренние и/или внешние интерфейсы определяются открытыми стандартами.

В системе открытой стандартизации для обозначения организации или группы организаций, которые утверждают нормы, правила и требования, принимаемые рынком, используется термин «организация, утверждающая стандарты» (Standards Setting Organization, SSO). Для правительственных организаций, утверждающих стандарты по «директивной» схеме, можно встретить термин formal SSO (официальная организация, утверждающая стандарты). При этом в их названиях не используются термины alliance, consortia, association, group (альянс, консорциум, ассоциация), часто фигурирующие в развёрнутом определении организаций, вовлечённых в процесс

открытой стандартизации. В качестве конкретных примеров можно привести ассоциацию Small Form Factor Special Interest Group (SFF-SIG, Группа по малогабаритным встраиваемым модулям) как организацию уровня SSO и Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) как организацию уровня formal SSO.

ОТКРЫТАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ РЫНКА

Начало процесса открытой стандартизации можно отнести к 1980-м годам прошлого века. Компании Siemens, IBM, AT&T и подобные им, являясь локомотивами компьютерной индустрии и телекоммуникаций, одновременно с созданием, производством и внедрением новой техники были вынуждены (и оказались способными) разрабатывать стандарты на основе принципов открытости. К этому их побуждали, с одной стороны, антимонопольное законодательство, а с другой стороны – необходимость повышения доверия к новой технике у заказчика.

Если говорить о демополизации отрасли, то появление открытых стан-

дартов создаёт перспективы работы на новых рынках для компаний среднего и малого бизнеса (СМБ), что в немалой степени способствует созданию конкурентной среды. Стандартизация облегчает небольшим компаниям ведение инновационных работ в рамках своей узкой специализации, поскольку им уже не приходится решать целый ряд важных для управления качеством конкретного продукта технических вопросов. В результате компании любого размера, обладающей экспертными знаниями в определённых областях техники, предоставляется возможность вывести на рынок конкурентный продукт, интегрируемый в более сложные системы или эксплуатируемый на основе стандартных интерфейсов.

Наличие системы стандартизации снимает зависимость от единственного поставщика и облегчает проблемы с внутренней поддержкой оборудования. Преимущества стандартизации модулей и конструктива корпуса для встроенных систем получили конкретные количественные оценки в российской целевой программе «Развитие

электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 гг. В Программе подчёркивается, что «...сокращение номенклатуры составных частей радиоэлектронной аппаратуры в два раза (без снижения общего объёма её производства) ведёт к снижению стоимости аппаратуры на 20...25%. При этом в 1,5 раза уменьшается продолжительность работ при значительном снижении резервного фонда запасных частей для их замены в процессе ремонта аппаратуры».

Таким образом, одной из актуальных проблем современного радиоэлектронного приборостроения является создание необходимой и достаточной номенклатуры унифицированных электронных модулей и базовых несущих конструкций, обеспечивающих проектирование и производство на их основе радиоэлектронной аппаратуры оборонного и гражданского назначения.

Открытая стандартизация выравнивает стоимость интеграции оборудования от разных поставщиков, и системный интегратор может отбирать компоненты на основе объективных критериев – по функциональным воз-

Топологический трассировщик печатных плат **ТороR** — это:

- Высокая скорость и великолепное качество трассировки
- Превосходный набор инструментов, который многократно сокращает сроки разработки электронных устройств
- Гладкие, без изломов, проводники
- Уникальные алгоритмы и нетрадиционные подходы к решению сложных задач
- **Автоматическое выравнивание задержек в сигналах**

EREMEX
Innovative Approach to Electronics Design

Санкт-Петербург • Тел.: +7 (812) 448-0444 • Факс: +7 (812) 448-0339
Москва • Тел.: +7 (495) 232-1864 • Факс: +7 (495) 232-1654
info@eremex.ru • www.eremex.ru



ТороR Инструмент для создания шедевра

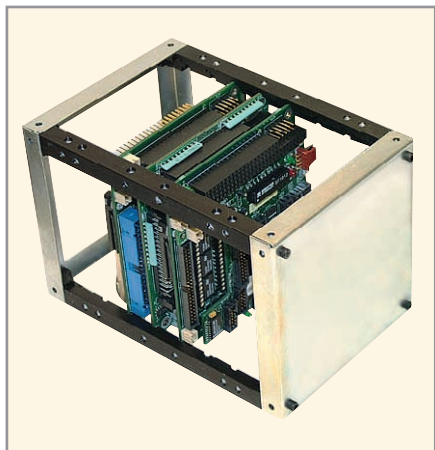


Рис. 1. Стек модулей форм-фактора PC/104

возможностям, рабочим характеристикам и стоимости.

Открытая стандартизация защищает инвестиции в контрольно-измерительное и испытательное оборудование благодаря тому, что его поставщики видят перед собой достаточно ёмкий рынок. В противном случае (при наличии фрагментированного рынка) компаниям – производителям метрологического оборудования пришлось бы расплывать свои силы на производство широкой номенклатуры дорогого оборудования.

ЭКОСИСТЕМА СТАНДАРТОВ АППАРАТНЫХ ПЛАТФОРМ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

К настоящему моменту разработано более сотни стандартов модульных компонентов для построения аппаратных платформ встраиваемых систем, а в области стандартизации таких изделий работает свыше десятка организаций SSO. Среди них есть такие, чья история исчисляется десятилетиями (VITA, PICMG, PC/104 Embedded Consortium), а есть и относительно молодые. Так, например, ассоциация SFF-SIG начала свою официальную деятельность в апреле 2008 г., успев разработать несколько стандартов и увеличить число своих членов с семи до почти двух десятков. Для сравнения, в составе PC/104 Embedded Consortium (Консорциум по встраиваемым модулям семейства стандартов PC/104) – около семи десятков членов.

Что касается классификации стандартов модульных компонентов, то, по мнению Рея Олдермана [1], исполни-

тельного директора ассоциации VITA, можно выделить «...три категории форм-факторов плат: (1) модули для монтажа в стойку (rack mounted boards), причём такая установка не требует специальных инструментов и осуществляется достаточно просто и быстро; (2) модули для установки в индивидуальный корпус (canned boards), монтаж которых в такой корпус требует специальных инструментов, занимает относительно много времени и требует специальной квалификации; (3) сменные модули (snap-on boards) – мезонинные модули, которые устанавливаются на модули категорий (1) или (2)».

Конкретный, достаточно короткий «код» форм-фактора разработанных за последние 15–25 лет одноплатных компьютеров (PC/104, 3U CompactPCI, 6U VME) позволяет однозначно идентифицировать габариты, расположение крепёжных отверстий, разъём и принцип интеграции встроенной системы (стекирование плат в виде «этажерочной» конструкции, размещение их в слотах шасси/крейта, использование в виде материнской платы или мезонинного модуля), а также стандарт (технология) интерфейса или назначение выводов системного разъёма, обеспечивающего электрические связи во встроенной системе.

Например, «код» форм-фактора PC/104 означает, что встроенная система в своём базовом варианте будет строиться как стек модулей (своеобразная «этажерка» с минимальным шагом «полок» 15,24 мм) с габаритами 90 × 96 мм (см. рис. 1), а электрические связи между модулями будут поддерживаться 104-выводным разъёмом со стандартизованным назначением выводов.

В сфере открытой стандартизации аппаратных платформ модульных компонентов для встроенных систем за последние несколько лет произошёл ряд важных событий. Существенным шагом в развитии экосистемы стандарта MicroTCA (Micro Telecommunications Computing Architecture, архитектура вычислительных систем для малогабаритного телекоммуникационного оборудования) стало создание спецификаций MicroTCA.1: Rugged air-cooled MicroTCA (для жёст-

ких условий эксплуатации на основе технологии воздушного охлаждения), MicroTCA.2: Hardened air-cooled MicroTCA (с расширенными возможностями для жёстких условий эксплуатации на основе технологии воздушного охлаждения) и MicroTCA.3: Conduction-cooled MicroTCA (с кондуктивным теплоотводом). Эти новые стандарты ассоциации PICMG (PCI Industrial Computer Manufacturers Group, Организация разработчиков и производителей промышленных компьютеров на основе шины PCI) стали конкурировать со спецификациями VITA¹ в тех сегментах оборонных приложений, где распространена шина VME.

Однако спецификации VITA сохраняют свою привлекательность для военного рынка из-за глубокой привязки оборонных систем и благодаря с появлению новых стандартов VPX и VPX-REDI. Стандарт VPX (VITA 46) и его развитие VPX-REDI (VITA 48), описывающее принципы адаптации VPX-платформы к жёстким условиям эксплуатации, были созданы в ответ на потребности приложений в широкой полосе пропускания, которые уже не могли удовлетворить шинные архитектуры предыдущих поколений.

Ассоциацией PC/104 Consortium завершён ряд новых проектов, которые обеспечили новые возможности для развития экосистемы PC/104. Это спецификации PCI/104-Express (PCIe/104), EPIC Express и EBX Express. Реализация этих проектов позволяет в долгосрочной перспективе использовать модули форм-фактора PC/104 с пятью вариантами шинных конфигураций – PC/104 (только интерфейс ISA), PC/104-Plus (шины ISA и PCI), PCI-104 (только интерфейс PCI), PCI/104-Express (шины PCI и PCIe) и PCIe/104 (только интерфейс PCIe) – в трёх базовых вариантах форм-факторов встроенных систем: «этажерочная» (stackable) конструкция с габаритами, совпадающими в плане с габаритами модуля PC/104, а также платы форматов EPIC и EBX с возможностью установки на них одиночных модулей форм-фактора PC/104 или стеков таких модулей.

¹ Ассоциация VITA зародилась как структура, курирующая развитие компьютеров на основе параллельной шины VMEbus для промышленных и военных применений. Сегодня её разработки тесно связаны со стандартами PICMG в части использования объединительных панелей на основе последовательных высокоскоростных интерфейсов.

Размежевание спецификаций происходит по линии приложений: PICMG традиционно тяготеет к отрасли телекоммуникаций, а в числе основных клиентов VITA – военные структуры.

Детальное освещение упомянутых и некоторых других стандартов, созданных за последнее время, невозможно в одной статье. Поэтому ниже мы попробуем определить глобальные векторы открытой стандартизации модульных компонентов для встроенных систем.

Модульные компоненты для встроенных систем: SWaP-/SWaPP-оптимизация как движущая сила развития открытых стандартов

Для упрощения рассуждений о тенденциях развития открытых стандартов модульных компонентов будем использовать ещё одну классификацию, отличную от той, что предложена в [1]. Разделим множество стандартов форм-факторов модулей для встраиваемых систем на две группы. В первую включим те, что определяют требования к модулям, на основе которых можно строить масштабируемые системы. Здесь на первое место выходит производительность вычислений и пропускная способность каналов внутренних и внешних коммуникаций.

Вторая группа – это спецификации компактных модулей (Small Form Factor Board, SFFB), которые используются для построения т.н. SWaP-оптимизированных систем (Size, Weight and Power, габариты, масса и энергопотребление).

Граница между этими двумя группами стандартов проходит по «модулям для монтажа в стойку» на основе объединительной панели с вертикальным габаритом 3U. Здесь появляется возможность SWaPP-оптимизации встроенной системы, когда не приходится поступать требованиям к производительности (последняя P в аббревиатуре SWaPP означает performance, производительность) в угоду минимизации SWaP-характеристик.

Формат 3U в стандартах VITA и PICMG

Формат 3U впервые был введён в обиход разработчиков стандартизованных встроенных систем ассоциацией VITA в конце 1980-х годов и успешно обслуживал 16-разрядные процессорные платформы. Со временем форм-фактор 3U VME стал терять

свою популярность в связи с тем, что переход на 32-разрядные процессоры не позволял разместить на плате все желаемые подсистемы с соблюдением необходимых характеристик в части обеспечения теплоотвода, электромагнитной совместимости и числа каналов ввода/вывода. В результате фактическим стандартом в оборудовании VME стали модули габарита 6U.

«Возвращение» формата 3U связано с утверждением в 1990-х годах ассоциацией PICMG стандарта CompactPCI и с развитием его «клонов». Эти спецификации предусматривали использование разъемов с более плотным размещением выводов и с большим их количеством. Стандарт «стартовал» с форм-фактора 3U. При этом, по мнению экспертов рынка встроенных систем, в своём рыночном сегменте системы 3U CompactPCI обладают наилучшим соотношением энергопотребления, массы и вычислительных возможностей. Но со временем и в системе стандартов CompactPCI появились спецификации, предусматривающие использование габарита 6U, т.к. форм-фактор 3U CompactPCI пе-

<p>МОСКВА телефон (495) 649-84-45 Факс (495) 646-80-01</p>	<p>САНКТ-ПЕТЕРБУРГ телефон (812) 313-28-33 Факс (812) 313-28-44</p>	<p>ИЖЕВСК телефон (3412) 50-33-30 Факс (3412) 51-84-29</p>
--	---	--

Elitan.ru
ИНТЕРНЕТ МАГАЗИН

**ПРИБОРЫ
И ИНСТРУМЕНТ**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ
КОМПОНЕНТЫ**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ
КОМПЛЕКТУЮЩИЕ**

1 000 000 товаров от 999 изготовителей

- Минимальный заказ не ограничен
- 12 способов доставки по России и за рубеж
- Удобная система оплаты:
Банк, VISA, MasterCard, Webmoney, ЯндексДеньги, RBK Money
- Ежедневное обновление склада
- Отслеживание состояния заказа через сайт

info@elitan.ru www.elitan.ru

Реклама

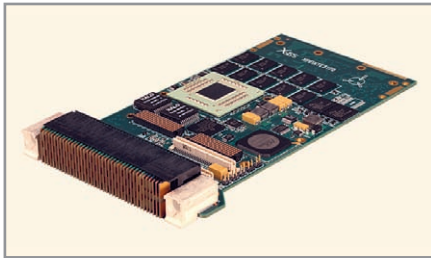


Рис. 2. Модуль XPedite5170 форм-фактора 3U VPX поддерживает интерфейсы x4 PCI Express или Serial RapidIO, x4 PCI Express, два порта SerDes Gigabit Ethernet



Рис. 3. Платформа MicroTCA для военных применений

рестал обеспечивать необходимое для некоторых приложений количество контактов ввода/вывода в системном разъёме.

В новом поколении стандартов VITA (VPX) и PICMG (AdvancedMC/MicroTCA): (1) произошёл отказ от шин параллельной передачи данных в пользу технологий последовательной передачи данных, таких как Gigabit Ethernet, Serial RapidIO и PCI Express; (2) стала использоваться технология коммутируемого системного интерфейса; (3) были введены понятия уровней (Planes) коммуникаций и (4) были разработаны новые конструкции системных разъёмов (см. рис. 2).

Новые разъёмы обеспечили гигабитные пропускные способности интерфейсов передачи данных, а концепция уровней позволяет разделить коммуникации на категории, не меняя при этом физической структуры системы. Примерами уровней коммуникаций, предъявляющих разные требования к качеству обслуживания (QoS) и пропускной способности каналов, являются: (1) уровень сигналов управления (Management Plane), (2) уровень сигналов контроля (Control Plane) и (3) уровень передачи данных (Data Plane).

Если первый уровень отвечает за мониторинг работоспособности системы, учёт системных ресурсов, фиксацию событий, происходящих в системе, детектирование сбоев и изоля-

цию сбойных участков и строится на основе интерфейса IPMI, то для организации коммуникаций уровня данных приходится использовать широкополосные каналы на основе Serial RapidIO и PCI Express. А использование интерфейса Gigabit Ethernet на основе технологии SerDes (для преобразования параллельного потока данных в последовательный и наоборот) для уровня Control Plane позволяет найти оптимальное соотношение пропускной способности, габаритов интерфейса, стоимости аппаратной реализации и возможности использования унаследованного программного кода.

Упомянутые нововведения возродили применение формата 3U в тех приложениях, где ранее он был вытеснен форматом 6U в системах стандартов VITA и PICMG, и создали предпосылки для конкуренции стандартов на монопольных и новых рынках.

Так, для платформы MicroTCA получены положительные результаты применения в приложениях JC4ISR (Joint Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, объединённые автоматизированные системы разведки, связи и управления войсковых порядков) применительно к эксплуатации на борту бронетанковой техники и иных боевых машин военного назначения (см. рис. 3).

В ходе испытаний было показано, в частности, что можно ожидать 25-летнего срока службы разъёмов без нарушения контактов. При этом сопоставимую с платформой MicroTCA полосу пропускания внутренних коммуникаций и вычислительную мощность способны обеспечить лишь платформы форм-фактора 6U в стандартах VME или CompactPCI, тогда как форм-фактор MicroTCA укладывается в габариты $2U \times 3(6)HP \times 183,5$ мм, что даже меньше, чем для систем формата 3U VME или Compact PCI.

В свою очередь, системы VME активно наращивают телекоммуникационные возможности. Переход военных на концепцию ведения боевых действий на основе коммуникационной инфраструктуры потребовал от обслуживающей оборонные приложения мирной организации соответствующих действий. Кроме связи, военным сегодня необходима надёжная поддержка аппаратуры на основе интел-

лектуальных датчиков, морских сонаров, радаров на основе фазированных решёток. Усложнение подобных приложений цифровой обработки сигналов в военной области привело к проекту VITA 17.2 – Serial FPDP Extension. Интерфейс Serial FPDP (ANSI/VITA 17.1) используется как высокопроизводительный канал передачи данных в приложениях сбора и цифровой обработки сигналов (ЦОС) с датчиков, а его расширение позволит довести пропускную способность Serial FPDP до 10 Гбит/с.

Кроме того, разработчики нового поколения 3U-спецификаций VITA (VPX) и 2U/4U PICMG (AdvancedMC/MicroTCA) ищут пути адаптации этих стандартов для рынков общепромышленных приложений. Одним из подобных проектов является инициатива INCA (Industrial and Network Computing Architecture, компьютерная архитектура для промышленных и сетевых приложений), которую предлагается развивать в рамках процедур открытой стандартизации в качестве «клона» платформы MicroTCA. Новая архитектура позволит упростить развёртывание систем класса MicroTCA за счёт снижения стоимости оборудования и упрощения процесса проектирования, развёртывания и эксплуатации конечных систем.

Говоря о новых возможностях SWaP- и SWaPP-оптимизации модулей для построения встроенных систем, нельзя не отметить важный инструмент этого процесса – новое поколение высокоинтегрированных процессорных микросхем и наборов ИС, которые обеспечили возможности уплотнения и/или повышения рабочих характеристик в модулях с небольшими габаритами. При этом развитие процессорных архитектур также встраивается в процесс открытой стандартизации. Это в первую очередь относится к архитектурам Power, ARM и MIPS.

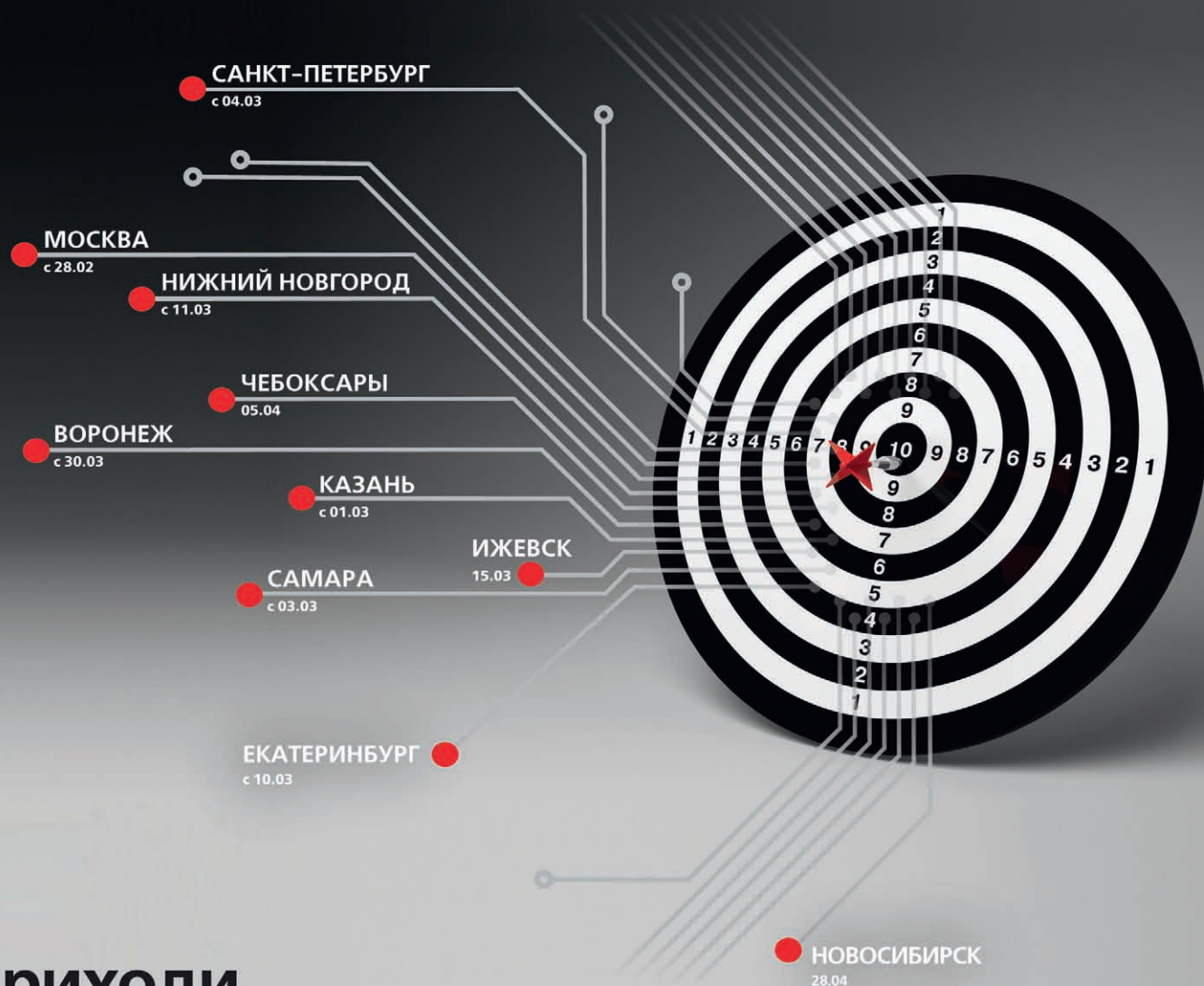
НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СТАНДАРТОВ НА РЫНКЕ SFFB

Наиболее известными организациями, курирующими развитие стандартов компактных модулей (SFFB), являются PC/104 Embedded Consortium, SFF-SIG, XTX Consortium (Консорциум по модулям формата XTX), а также уже упомянутая ассоциация PICMG (COM-модули).

Точное попадание

Altium Designer 10

Реклама



Приходи
на тест-драйвы,
оцени свои возможности!

PC/104 Embedded Consortium является на данный момент «зонтичным брендом» стандартов PC/104, PC/104-Plus, PCI-104, PCI/104 Express, PCIE/104, EBX и EPIC. A SFF-SIG – единственная, пожалуй, организация, взявшая под «общественный» контроль платформы для встраиваемых применений на основе процессоров x86-архитектуры с энергопотреблением ниже 10 Вт от Intel и VIA Technologies. С деятельностью ассоциации SFF-SIG связано одно из наиболее важных отраслевых изменений в сфере стандартизации SFFB.

Оперативная разработка и принятие ассоциацией SFF-SIG спецификаций SUMIT (Stackable Unified Module Interface Technology, спецификация разъёма для создания «этажерочных» конструкций), COMIT (Computer-On-Module Interconnect Technology, технология подключения COM-модулей), Pico-ITXe и Industry Standard Module (ISM) являются большим успехом. Однако хочется специально отметить, что особенностью спецификаций COMIT и SUMIT является разделение развития наборов интерфейсов, поддерживаемых SFFB, и вопроса выбора оптимальных габаритов компактных компьютерных модулей для встраиваемых систем. Определяя лишь набор интерфейсов, назначение выводов и расположение разъёма относительно ближайших крепёжных отверстий, стандарты COMIT и SUMIT универсальны для любого форм-фактора, включая внутрифирменные.

В русле политики «разделения» ассоциацией SFF-SIG разработан и ещё один стандарт – Industry Standard Module (ISM). Он определяет габариты модуля (приблизительно 100 × 100 мм) безотносительно поддерживаемых интерфейсных технологий. Тем самым стандарт защищает инвестиции в разработку корпусов и технологий крепления одноплатных компьютеров и модулей расширения.

Ещё одной причиной формирования нового подхода при разработке стандартов SFFB-модулей для встроенных систем являются дискуссии по проблеме поддержки унаследованных технологий и платформ в мире встроенных систем, возникшей на фоне безудержной гонки технологий на

потребительском рынке. Растущая популярность концепции COTS², которая в ряде государственных проектов является обязательным условием, а на «свободном» рынке рассматривается как естественное и удобное средство управления стоимостью продукции, заставляет разработчиков встроенных систем следовать этим нововведениям.

Порождением COTS-подхода является, в частности, концепция COM-модулей (Computer-On-Module, компьютер на модуле). В её рамках предлагается использовать относительно ограниченный набор форматов стандартных одноплатных компьютеров, придавая разрабатываемым продуктам требуемую индивидуальность набором подсистем, устанавливаемых на специализированной плате-носителе. Комбинирование COM-модуля с такой платой позволяет более гибко «настраивать» конечную систему под потребности приложения. COM-модули могут использоваться и самостоятельно, без платы-носителя.

Одна из последних инициатив в сфере COM – разработка спецификации COM Express 2.0 – также может рассматриваться в качестве примера проекта, где разделены вопросы оптимизации габаритов и системного интерфейса (набора интерфейсов, поддерживаемых системным разъёмом). Этот стандарт связан с развитием разъёма Type 2, который включает поддержку технологий USB 3.0, HDMI и DisplayPort в разъём интерфейса COM Express.

В числе отраслевых особенностей платформы COM – её ориентация на новые, растущие рынки и самые передовые технологии, отсутствие больших обязательств перед уже развёрнутыми инфраструктурами.

Иная ситуация с форм-фактором PC/104. Ассоциация PC/104 Embedded Consortium занимается стандартизацией аппаратных платформ (процессорных модулей и модулей расширения) для встроенных систем на базе одноплатных «IBM-совместимых компьютеров» на протяжении десятилетий. Особенностью разрабатываемых ассоциацией PC/104 Embedded Consortium стандартов является возможность создания на их основе ком-

пактных «этажерочных» конструкций (см. рис. 1), устойчивых к жёстким условиям эксплуатации.

С появлением на платах формата PC/104 шины PCI Express (спецификация PCI/104-Express/PCIE/104) приверженцы формата PC/104 получили новые возможности для развития платформы, сохранив возможности поддержки унаследованных систем. Меньшие габариты нового интерфейса освобождают ресурсы площади платы. При одновременном повышении производительности коммуникаций и расширении возможностей системного управления и контроля это усиливает конкурентные достоинства компактных «этажерочных» конструкций форм-фактора PC/104, особенно если принять во внимание возможность использования высокопроизводительных процессоров со сверхнизким напряжением питания и пассивным охлаждением.

ОТКРЫТАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Гибкость открытых стандартов является достоинством только для тех пользователей, которые знают, как ей воспользоваться. Для остальных гибкость может стать источником проблем, что показал опыт внедрения систем в стандарте CompactPCI. Вследствие всех возможностей, предусматриваемых стандартом, и гибкости, заложенной в архитектуру CompactPCI, поставщики модулей сталкивались с затруднениями в выборе тех возможностей, которые имело смысл реализовывать для потребителей их продукции как COTS-изделий. Потребителям же приходилось тщательно выяснять в ходе отбора оборудования, какие из возможностей стандарта реализованы в конкретных COTS-продуктах стандарта CompactPCI.

История повторилась со стандартом VITA VPX. Архитектура VPX понравилась разработчикам встроенных систем для военных и аэрокосмических приложений: базовые характеристики этой платформы – высокая производительность, широкие возможности создания развитой подсистемы ввода/вывода и форм-фактор, обеспечивающий стойкость к жёстким условиям эксплуатации. Однако в конце 2008 г. стало ясно, что гибкость спецификации VPX

² COTS – это Commercial-of-the-Shelf, «коробочный» продукт «с полки», концепция универсального использования процессорных архитектур, интерфейсов и микросхем, их реализующих, а также модульных компонентов с уровнем интеграции печатной платы, системного корпусного конструктива, программного обеспечения, отладочных средств и т.п. на разных сегментах рынка.

(платформа описывается дюжиной документов, часть из которых утверждена, а часть находится в черновых версиях) зачастую приводит к проблемам функциональной совместимости при интеграции конечных систем.

В связи с этим, в начале 2009 г. был инициирован проект OpenVPX, целью которого стала ликвидация «пробелов» в стандарте VPX, допускающих возникновение подобных проблем. Разработка спецификации функциональной совместимости VITA 65 заняла менее года. Она была выстроена на базе спецификаций VPX, описывающих модули этого стандарта, но при этом содержит классификацию описаний, определений и характеристик систем, которые можно собирать на основе этих модулей и объединительных панелей. Эта классификация, использующая представления стандартов семейства VPX, включает также новые для экосистемы стандартов VITA понятия, такие как planes (уровни коммуникаций) и profiles (профили/описания), номенклатура описательных характеристик которых одинакова для систем форм-факторов 3U и 6U. Ис-

пользование этих новых понятий производителями модулей и объединительных панелей, а также системными интеграторами обеспечивает не только достаточную гибкость в подборе компонентов, но и функциональную совместимость, что является важными требованиями при создании современных военных систем.

Решение проблемы функциональной совместимости модульных компонентов в платформе, создаваемой на базе открытого стандарта, приобретает особую остроту при завоевании стандартом отраслевого рынка. Усилиями компаний Alcatel, Ericsson, Motorola, NEC, Nokia и Siemens была сформирована ассоциация SCOPE Alliance, которая взяла на себя миссию по продвижению платформ операторского класса на основе продуктов класса COTS и FOSS (Free Open Source Software). В сфере её интересов – популяризация технологий, процедур и мероприятий для поддержки совместимости оборудования; поддержка отраслевой активности в части формирования профилей оборудования, которые бы способствовали использо-

ванию COTS- и FOSS-продуктов, созданных на базе спецификаций других промышленных объединений.

Развитием практики применения сертификационных процедур для подтверждения совместимости работы оборудования от разных поставщиков занимается и Ассоциация производителей коммуникационных платформ (Communications Platforms Trade Association/CP-TA). Активное участие в содействии согласованиям спецификаций телекоммуникационного оборудования на основе открытых стандартов принимает рабочая группа Open Communications Architecture Forum (OCAF) Focus Group в составе ИТУ (Международный телекоммуникационный союз).

И этими примерами не исчерпывается список некоммерческих ассоциаций, занимающихся вопросами обеспечения и сертификации совместимости оборудования, производимого для современной электроники на основе открытых стандартов.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.vmecritical.com/articles/id/?3423>.



НИ БАЙТА ВРАГУ!







ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ НАКОПИТЕЛИ
для ответственных применений

Безопасность

- Быстрое стирание данных QEraser
- Уничтожение данных SErase
- Защита от записи

Производительность

- Скорость чтения до 175 Мбайт/с
- Скорость записи до 90 Мбайт/с

Надёжность

- Расширенный температурный диапазон -40...+85°C
- Конформное покрытие



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ INNO DISK



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

Реклама

Динамика космических технологий: микросистемы в корпусе

Посвящается 50-летию полёта Ю.А. Гагарина

Николай Данилин, Димитр Димитров, Ильяс Сабиров, Даниил Белов (Москва)

В статье рассматривается концепция создания функционально сложных микросистем с повышенным уровнем радиационной стойкости на базе использования гибридных интегрированных «систем в корпусе».

ВВЕДЕНИЕ

Сравнительный анализ динамики развития космической микроэлектроники в США, Японии, ЕС и Китае с одной стороны и России с другой показывает, что потенциал развития отечественной электронной промышленности в таких приоритетных направлениях, как космическое приборостроение, атомная энергетика и высокоточные интеллектуальные системы вооружения, ещё имеется.

Особенностью указанных областей является большая номенклатура микроэлектронных компонентов (более 4600 типов) при малых количествах по каждой позиции (от 10 до 1000 шт. в год). К этим компонентам предъявляются жёсткие требования по радиационной стойкости (от 100 Крад до 1 Мрад) и надёжности (до 20 лет безотказной работы). Опыт, накопленный отечественными разработчиками, позволяет создавать подобные компоненты и изделия на мировом уровне с учётом миниатюризации, многофункциональности и минимального энергопотребления.

Ведущие мировые фирмы, работающие в космической и оборонной отраслях, около 20 лет используют в своих изделиях так называемые «системы в корпусе» (СвК) (System in Package). Тем самым достигается миниатюризация изделия (вес, габариты), уве-

личивается его функциональность и снижается энергопотребление. При этом цикл разработка–выпуск сокращается до нескольких недель (программа *microsatellite in six days*). Сегодня в РФ существует реальная возможность разрабатывать и производить отечественные СвК.

В настоящей статье обсуждается концепция применения гибридных интегрированных систем в корпусе в качестве современной ЭКБ «макроуровня» для построения микроспутниковых систем на примере действующей в США практики, с анализом сопутствующих проблем и экономических аспектов.

В течение последних десяти лет на мировом космическом рынке установилась тенденция разработки и производства микроспутниковых систем массой от 1 до нескольких десятков килограммов. В зависимости от весовой характеристики космического аппарата, была введена условная классификация – микро-, нано- и пикоспутники. В настоящей статье используется термин «микроспутник» в качестве объекта применения систем в корпусе.

Микроспутники интересны для потенциальных потребителей из-за их существенно меньшей стоимости и сокращённого цикла реализации. Одновременно во многих областях

промышленности стали разрабатываться и применяться изделия микросистемотехники и субмикронных полупроводниковых технологий (МЭМС, системы на кристаллах и системы в корпусе). Это позволило реализовать множество космических миссий микроспутниковыми системами (в том числе и распределёнными спутниковыми архитектурами) за счёт традиционных решений, выработанных на основе классических спутниковых систем. На орбите появились целые микроспутниковые кластерные формации, вроде американской *Ionspheric Observation Nanosatellite Formation (ION-F)*.

Почти все космические миссии США (коммерческого или военного назначения) вплоть до конца 1990-х были реализованы NASA с использованием традиционных спутников. Проект конкретного спутника и его массогабаритные характеристики определяются целями и задачами миссии и находятся в строгой зависимости от текущего уровня технологий (электроника, конструкционные материалы, прикладное программное обеспечение и т.д.) и установленных бюджетных ограничений.

Важнейшее значение для проекта космического аппарата имеет технологическая зависимость. На рисунке 1 в обобщённом виде представлена «дорожная карта» весовых характеристик некоторых типовых спутников, запущенных NASA в период с 1958 по 2010 гг.

Таким образом, СвК является стратегической технологией для мировой и отечественной космической промышленности и полностью определяет возможности эффективного освоения рынка микроспутниковых систем.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПУТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЭКБ

В настоящее время космическая технология так широко вошла в современную жизнь, что отказ от неё

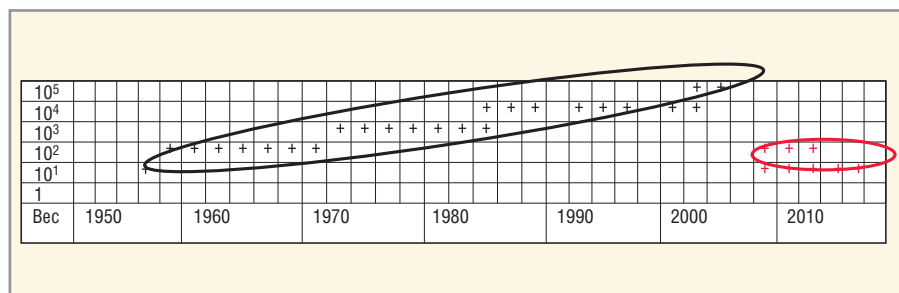


Рис. 1. Вес спутников, запущенных NASA в период 1958–2010 гг.

отбросил бы развитие цивилизации далеко назад. Невозможно представить, что прогноз погоды, разведка полезных ископаемых, мониторинг окружающей среды, развитие телекоммуникаций и телевидения, обеспечение обороноспособности и многие другие задачи решались бы без средств космического базирования. Если первые космические аппараты (КА) функционировали в течение года, то в настоящее время стоит задача обеспечения сроков активного функционирования КА в течение 10–12 лет, а в перспективе – 15 лет и более.

Космос – экстремальная окружающая среда, где сделанные человеком системы редко получают второй шанс. Поэтому исключительное внимание требуется уделить качеству электронной компонентной базы (ЭКБ), предназначенной для систем длительных сроков активного существования (ДСАС).

Ввиду высоких требований САС (15–20 лет) в практике ведущих западных космических фирм при комплектации бортовой аппаратуры применяется ЭКБ в основном космического уровня Space. В крайнем случае применяется ЭКБ, специально разработанная и изготовленная под требования стандартов уровня Space или дополнительно отбракованная процедурами upscreening уровня MIL. При этом комплектующим присваивается статус «нестандартных».

Элементная база уровня Space позволяет реализовать большую избыточность по качеству (10–20 раз) и создать резерв противодействия внешним факторам космического пространства, в том числе радиационную стойкость

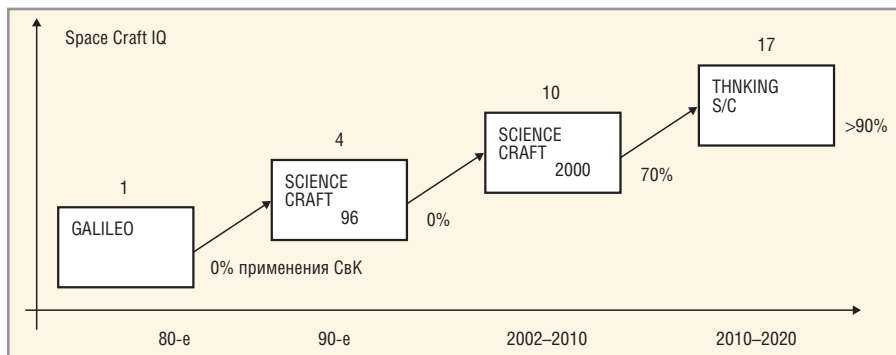


Рис. 2. Концепции миниатюризации и функциональной сложности микроспутниковых систем

100 Крад и более, парировать влияние статического электричества при сборке. Другими словами, наивысшее качество и надёжность компонентов всегда приводят к снижению общей стоимости проекта (отсутствие рекламаций, отказов, сбоев).

Как считают специалисты NASA, создание космического качества недостижимо только средствами испытаний. Основное – это производство ЭКБ, а отбраковка должна быть вспомогательным средством. Примером служат достижения ведущих фирм США, в первую очередь Aeroflex, в реализации принципиально новых технологий, в том числе СвК.

КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОСПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИИ МИНИАТЮРИЗАЦИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ

Информация о миниатюризации, модульности и функциональной сложности микроспутниковых систем на мировом рынке в период 1980–2010 гг. и прогноз до 2020 г. схематично представлены на рисунке 2 четырьмя базисными концепциями.

Первая концепция связана со спутником Galileo (1989), предназначен-

ным для изучения Юпитера и его спутников. Проблемы, возникшие во время его эксплуатации (например, сбой и поломки антенного комплекса, трудности переконфигурирования управляющих подсистем и др.) выявили неэффективность бортовых компьютерных систем и технологий обработки информации на борту.

Вторая концепция, Science Craft 96, связана с модульностью полезной нагрузки и её программного обеспечения, что позволило гибко реализовать технические решения для разного класса миссий в рамках одной платформы. В качестве примера можно привести 10-летнюю миссию к Плутону.

Третья концепция, Science Craft 2000, также построена на модульных гибридных узлах и на обновляемом программном обеспечении. В ней решения на базе систем в корпусе и программируемой логике занимают около 90% от всех технических решений.

Четвёртая концепция, Thinking Space Craft, за счёт применения архитектурных модулей высокой функциональности (многокристалльных (до 18) 3D-систем в корпусе и самоконфигурируемого программного обеспечения (built in intelllect)) позволит строить высо-

СПЕКТР

НА ПУТИ К ВЕРШИНЕ УСПЕХА

Компания СПЕКТР предлагает услуги по изготовлению и монтажу печатных плат. Срочное изготовление опытных образцов. Выполнение заказов любого объема.

Телефон: +7 (495) 220-64-93, (981) 709-04-82, (960) 276-28-41
Факс: +7 (812) 333-27-55 (авт.) • info@spectr-pcb.ru • www.spectr-pcb.ru

Снижение условной стоимости проекта микроспутниковой системы в результате применения СвК и в зависимости от веса спутника

Подход к реализации проекта микроспутниковой системы	Вес 50...100 кг	Вес 10...50 кг	Вес 1...10 кг
Условная стоимость проекта без применения СвК	100	100	100
Условная стоимость проекта с долей СвК до 50%	70	60	50
Условная стоимость проекта с долей СвК до 75%	55	40	30
Условная стоимость проекта с долей СвК более 85%	45	30	25

коэффициентные микроспутниковые системы и самоорганизующиеся сети на их основе.

СИСТЕМЫ В КОРПУСЕ – НОВЫЙ ПОДХОД К ЭКБ ДЛЯ МИКРОСПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Системы в корпусе (СвК) участвуют в реализации почти всех модулей и подсистем выпускаемых сегодня в США, Японии и Китае микроспутников (см. рис. 2) и по сути – являются ЭКБ макроуровня:

- обеспечивают интеграцию цифровых, аналоговых и СВЧ-подсистем с МЭМС-модулями и тонко-/толстоплёночными структурами в общем корпусе, с получением максимальной функциональности в единице объёма;
- применение ряда типизированных СвК различного назначения как в платформе, так и в полезной нагрузке значительно снижает массогабаритные характеристики микроспутников. Компания Northrop Grumman (США) использует в своих микроспутниках 26 типов СвК, а Boeing Aerospace – 19 типов;
- технические решения на базе СвК эффективнее с точки зрения тестопригодности, гибкости и перестраиваемости;
- микроспутники на основе СвК испытываются с меньшими затратами (в собранном виде) на стендах типа payload tester;
- значительно снижаются расходы на разработку, испытания и производство спутниковых систем в целом.

Типичная СвК спутникового применения содержит до восьми полупроводниковых кристаллов (по технологиям КМОП, КНИ, КНС) в 2D- или 3D-конструктивном исполнении, более 50 дискретных активных и пассивных компонентов на керамической подложке, как правило, выполненных по технологии LTCC. Для таких СвК характерно применение герметичных металлокерамических или металлических корпусов.

Типовые технологии сборки для производства СвК включают монтаж «перевернутого кристалла», монтаж корпусов с габаритами кристаллов, монтаж 2D- и 3D-многокристалльных узлов, монтаж микросистем на базе полупроводниковых кристаллов, МЭМС, ВЧ- и оптоэлектронных узлов.

Типичная 3D-сборка из двух кристаллов имеет высоту 0,7 мм и включает верхний кристалл (толщина 110 мкм), слой клея (38 мкм), разделитель, второй слой клея (38 мкм) и нижний кристалл (110 мкм) со слоем клея. Разварка выводов реализована алюминиевой или золотой проволокой.

В программах ведущих зарубежных космических фирм на период 2010–2015 гг. предусмотрено применение СвК, содержащих до 14 полупроводниковых кристаллов. Типизированные гибридные сборки СвК уже рассматриваются в составе ЭКБ в системах логистики ведущих зарубежных компаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Система в корпусе» является стратегической технологией для мировой и отечественной космической промышленности и полностью определяет возможности эффективного освоения рынка микроспутниковых систем (см. в таблицу).

Анализ возможностей внедрения СвК в отечественной промышленности и их применения в космических аппаратах на период 2010–2015 гг. приводит к следующим выводам:

- номенклатура радиационно-стойких микросхем отечественного производства (в т.ч. на базе технологий КМОП, КНИ, КНС) весьма ограничена и, в основном, находится на этапе ОКР. К настоящему моменту номенклатура типичных электронных изделий для космической промышленности включает более 4600 наименований;
- технология СвК требует применения кристаллов для реализации 2D- и 3D-гибридныхборок, что предполагает наличие рынка заведомо аттесто-

ванных кристаллов (Known Good Die). Этого рынка у нас практически нет. Таким образом, возникает необходимость в применении зарубежных полупроводниковых кристаллов (пластин);

- отсутствует нормативная база (ОСТ, Временное положение, Решение и т.д.) по применению полупроводниковых кристаллов (пластин) зарубежного производства. При существующих нормативных документах и небольших расходах её можно ускоренно разработать и внедрить;
- отечественная практика проектирования, производства и тестирования изделий СвК не развита;
- условия для сборки и тестирования СвК и аппаратура на их базе реально существуют на нескольких отечественных предприятиях;
- достаточно хорошо развита отечественная логистика по обеспечению космической отрасли радиационно-стойкими микросхемами и кристаллами (пластинами) в формате Known Good Die.

На основании изложенного следует, что технологию СвК необходимо срочно внедрять в производство космической аппаратуры. От заинтересованных ведомств и предприятий требуются определённые усилия и финансовые вложения для достижения конкурентоспособности в стратегической космической области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин Н.С., Димитров Д.М., Сабиров И.Х. Разработка систем в корпусе (Known Good Die). Доклад на научно-технической конференции «Электронная компонентная база космических систем». Адлер. Сентябрь 2009.
2. Димитров Д.М., Сабиров И.Х. Опыт США по эффективному созданию высоконадёжной аппаратуры с военным и авиакосмическим назначением на базе систем в корпусе. Доклад на научно-технической конференции «Электронная компонентная база космических систем». Адлер. Сентябрь 2009.
3. Данилин Н.С., Димитров Д.М., Сабиров И.Х. Системы в корпусе – магистральный путь развития ЭКБ для авиации и космоса. Вестник электроники. 2009. № 2.
4. Урличич Ю.М., Данилин Н.С., Димитров Д.М., Сабиров И.Х. Электронная компонентная база систем в корпусе при разработке и реализации космической бортовой аппаратуре. Интеграл. 2011. № 1. ©

ПРОИЗОШЛА АВАРИЯ?

Вам повезло, если ваша автомобильная система экстренного оповещения оснащена модулем Telit.



GE864 QUAD Automotive V2 -
первый GSM/GPRS модуль с интегрированной поддержкой стандарта eCall.

Что делать, если произошла чрезвычайная ситуация? Система ЭРА-ГЛОНАСС в вашем автомобиле автоматически свяжется со службой спасения и передаст точные координаты вашего местонахождения, полученные от спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС. А если система оснащена модулем Telit GE864 QUAD Automotive V2, положенные в её основу современные технологии обеспечат надежную и долгую работу прибора. Интегрированный в программное обеспечение eCall-протокол впервые позволил применять модуль Telit для системы eCall без привлечения дополнительных вычислительных ресурсов. Это ещё одно доказательство высокой инновационности технологий компании Telit Wireless Solutions - одного из крупнейших производителей в сфере M2M. Telit – самое быстрорастущее предприятие в секторе M2M.



Telit® wireless solutions
Making machines talk.®

Реклама

DC/DC-преобразователи типа POL для применения в аппаратуре авиационной и космической техники

Виктор Жданкин (Москва)

В статье представлен DC/DC-преобразователь MFP0507S типа POL (point-of-load), предлагаемый компанией Crane Electronics, Inc для применения в распределённых системах электропитания бортовой аппаратуры авиационной и космической техники.

Постоянное увеличение пропускной способности и функциональности электронной аппаратуры современных космических аппаратов и авиационной техники приводит к росту энергопотребления. Так, в аппаратуре целевых систем космических аппаратов применяются высокопроизводительные процессоры, цифровые сигнальные процессоры, микросхемы памяти, функциональные устройства на основе базовых матричных кристаллов, использующие несколько номиналов напряжений питания (1,2; 1,8; 3,3 В) и характеризующиеся импульсным изменением потребляемого тока.

Архитектура распределённой системы электропитания с использованием модулей POL-преобразователей давно нашла применение в телекоммуникационных системах, системах передачи данных и промышленном оборудовании [1–5]. Она позволяет минимизировать длину проводников, подводящих питание к нагрузке, и падение напряжения на них, снизить потребляемую оборудованием мощность, ограничить распространение радиопомех и обеспечить стабильность тока при импульсном потреблении.

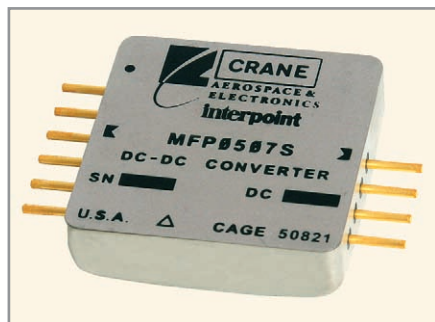


Рис. 1. Внешний вид модуля DC/DC-преобразователя MFP0507S с горизонтальным расположением выводов для объёмного монтажа; габариты 30,48 × 30,48 × 8,79 мм

Сегодня в распределённых системах электропитания в качестве входного напряжения функциональных плат используется первичное напряжение постоянного тока, а на платах применяются неизолированные DC/DC-преобразователи, которые устанавливаются в непосредственной близости от нагрузки (point-of-load – точка нагрузки).

К преобразователям напряжения постоянного тока типа POL, предназначенным для эксплуатации в бортовой аппаратуре авиационной и космической техники, предъявляются дополнительные требования по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим факторам (механическим, климатическим и специальным средам).

В 2011 г. компания Crane Electronics, Inc (США), известный производитель DC/DC-преобразователей и помехоподавляющих фильтров для авиационно-космических применений, начала производство высокоэффективного DC/DC-преобразователя типа POL MFP0507S, который является первым в серии MFP (Maximum Flexibility Power – мощность с максимальной гибкостью). Эти преобразователи обеспечивают максимальную гибкость благодаря набору управляемых функций и разработаны для формирования стабильного напряжения в широком диапазоне температур от –70 до +150°C (модели в исполнении /WT). На рисунке 1 показан внешний вид модуля MFP0507 с горизонтальным расположением выводов для объёмного монтажа.

Для обеспечения стабильного напряжения с низким уровнем пульсации DC/DC-преобразователи серии MFP не требуют каких-либо внешних компонентов. Они являются высоконадёжными, высокоэффективны-

ми преобразователями для применения с шинами напряжения 3,3 и 5 В. Преобразователь MFP0507S обеспечивает на выходе ряд предустановленных выходных напряжений 0,64; 0,8; 1,6; 2,5 и 3,3 В. Диапазон входных напряжений составляет от 3 до 6 В с отключением модуля при пониженном входном напряжении 2,75 В и при входном напряжении выше 6 В. При этом преобразователь способен выдерживать импульсы напряжения амплитудой 15 В и длительностью 1 с.

В основе схемы неизолированного преобразователя серии MFP используется понижающий (Buck) прямоходовой преобразователь с синхронным выпрямлением. Применение синхронного выпрямителя позволяет существенно повысить КПД [6, 7] и работать синхронно в режиме холостого хода, обеспечивая высокий КПД при небольших нагрузках без отключения синхронных устройств.

Важными свойствами модуля MFP являются: использование во входном каскаде полупроводникового ключа, ограничение пускового тока, синхронизация от системного тактового генератора и возможность распределения выходного тока, что позволяет нескольким включённым параллельно устройствам питать общую нагрузку.

Модуль MFP оснащён внутренней схемой питания, которая активна при входных напряжениях ниже 2 В и обеспечивает повышенное стабилизированное напряжение питания для внутренних схем. Этот внутренний источник питания позволяет модулю обеспечивать полную мощность в нагрузке с высоким КПД при входных напряжениях приближающихся к 3 В без применения внешнего источника питания или внешнего напряжения смещения.

Преобразователи серии MFP разработаны для применения с сильноточными нагрузками с быстрым изменением тока, что является типичным для цифровых схем. Ниже представ-

лены сервисные функции и особенности применения преобразователей серии MFP.

МОНТАЖ И ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ

Модули серии MFP разработаны для установки в непосредственной близости от нагрузки, которая во многих случаях может быть размещена на печатной плате. Высокое значение КПД (до 92%) уменьшает проблемы, связанные с рассеиваемой в модуле тепловой мощностью. Максимальная тепловая мощность 1,83 Вт рассеивается при выходном напряжении 3,3 В и полной нагрузке. Это тепло почти равномерно распределяется по основанию корпуса с площадью 929 мм². Потери при полной мощности нагрузки практически не зависят от выходного напряжения. Например, при выходном напряжении 0,8 В и полной нагрузке максимальная рассеиваемая в модуле мощность опять же составляет 1,83 Вт.

Чтобы определить требования к охлаждению и отводу тепла в конкретном применении, необходимо вычислить максимальную рассеиваемую в модуле тепловую мощность с

учётом КПД и выходной мощности. Для определения КПД при фиксированном входном напряжении, выбранном выходном напряжении и нагрузке могут быть использованы графики и табличные значения, приведённые в спецификации модуля [8]. Рассеиваемая в модуле тепловая мощность (P_{diss}) – разность между входной мощностью и выходной – может быть определена по формуле $P_{diss} = P_{out}(1 - \epsilon)/\epsilon$, где P_{out} – выходная мощность; ϵ – КПД.

Установившаяся температура перегрева модуля $\Delta T = P_{diss}\Phi$, температура корпуса $T_{case} = T_{base} - \Delta T$, где Φ – тепловое сопротивление модуля, прикреплённого к плате (°C/Вт); T_{base} – температура основания корпуса модуля.

Многие применения не потребуют особых усилий по охлаждению, однако это зависит от окружающей температуры, расположенных рядом компонентов и других факторов. Если для безопасной работы модуля требуется охлаждение, может быть использован конвекционный или кондуктивный отвод тепла.

Необходимо, чтобы температура основания корпуса модуля MFP была

установлена на безопасном уровне, т.е. меньшем, чем максимальное значение температуры. Все внутренние компоненты модуля соединены с металлическим основанием корпуса. Основание – это поверхность, которая является важной в том случае, когда используется кондуктивный теплоотвод. Обычно модуль крепится к печатной плате или монтажной поверхности с использованием теплопроводящей прокладки или специальной пасты. Подобные прокладки обеспечивают, в некоторой степени, кондуктивный теплоотвод через монтажную поверхность, зависящий от величины потерь на границе раздела. В том случае, когда применяется модуль с горизонтальным расположением выводов для объёмного монтажа, теплопроводящая прокладка плотно прижимает устройство к поверхности, поэтому соединения через выводы служат только для электрических целей и не осуществляют дополнительную механическую фиксацию модуля на плате.

На тепловизионной фотографии (см. рис. 2) видно, что температура внутри корпуса превышает температуру окружающей среды на 6°C. Такое



CRANE Crane Electronics, Inc.
AEROSPACE & ELECTRONICS

ЭНЕРГИЯ КОСМОСА!



Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи Interpoint™

- Многообразие вариантов конструктивного исполнения
- Рабочий диапазон температур от -55 до +125°C
- Высокая радиационная стойкость до 300 крад
- Удельная мощность свыше 5000 Вт/дм³
- Выходная мощность от 1,5 до 100 Вт
- Входные напряжения: 16...40 В постоянного тока
- Выходные напряжения: 1,5; 2,5; 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15; 3,3/±12; 3,3/±15; +5/±12; +5/±15 В
- Выходной контроль по MIL-STD-883 и MIL-PRF-38534

Реклама

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ КОМПАНИИ CRANE ELECTRONICS В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Телефон: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
САМАРА Телефон: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Телефон: (383) 202-0960; 335-7001; 335-7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КИЕВ Тел.: (+380-44) 206-2343; 206-2478; 206-2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru

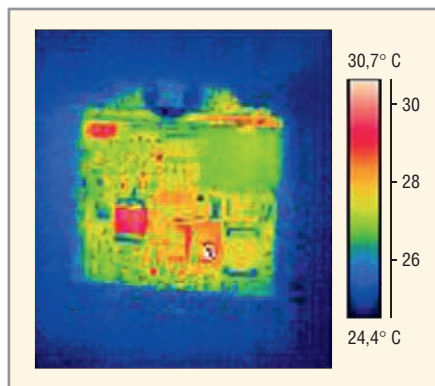


Рис. 2. Инфракрасное изображение модуля MFP при полной нагрузке при входном напряжении 6 В и выходном напряжении 3,3 В

низкое значение перегрева предоставляет разработчикам больше гибкости в вариантах конструкции платы для соответствия рекомендациям по снижению номинальных значений мощности.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ФИКСИРУЮЩИХ ЛЕНТ

Для крепления модуля к печатной плате или металлической поверхности рекомендуется использовать двухсторонние клейкие материалы компании Chomerics. Вследствие высокой эффективности модулей серии MFP, высокие характеристики теплопроводности материалов Chomerics остаются практически невостребованными.

Следующая информация относится к модулям, прикрепленным с использованием двухсторонних клейких материалов. Модуль MFP0507S был

испытан на воздействие случайной широкополосной вибрации при использовании для фиксации на алюминиевой вибрационной установке материалов T1680 и T404. Испытания на стойкость к вибрации проводились по наиболее жесткому методу 2026 стандарта MIL-STD-883; Condition 2, Letter K, суммарное значение ускорения 51,1 g (с.к.з.) в течение 15 мин по трем осям. Отсоединений модуля от поверхности не произошло.

Рекомендуемый размер для клейких лент 29,97 × 29,97 мм. Подробная информация о применении материалов Chomerics представлена в справочных листках и рекомендациях по применению. Материал T404 требует высокого прижимного усилия. Материал T1680 создан специально для крепления с низким усилием к корпусам гибридных интегральных микросхем, керамических и плоских корпусов.

В таблице 1 приведены основные технические параметры материалов Chomerics – теплопроводность, температурный диапазон и выделение газа.

НАЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ И ПРИМЕНЕНИЯ

На рисунке 3 показана схема включения нескольких DC/DC-преобразователей MFP, работающих на разные нагрузки, с использованием служебных сигналов и выводов: ENABLE (внешний сигнал включения модуля), TRIM (вывод подключения внешнего резистора для регулировки выходного напряжения), SENSE (изме-

рительный вход обратной связи) и контроль выходного тока (I_{OUT} Monitoring).

Функция дистанционного включения/выключения

Вывод ENABLE предназначен для обеспечения дистанционного включения/выключения модуля. В том случае, когда вывод открыт или отсоединен, осуществляется нормальное преобразование напряжения. Подключение этого вывода к земле блокирует преобразование напряжения, что приводит к отсутствию выходного напряжения и значительному снижению потребления тока. Функция ENABLE активируется устройством с открытым коллектором, подключенным к выводу, или высоким логическим уровнем напряжения от цифрового устройства до тех пор, пока высокий логический уровень напряжения выше, чем минимальное напряжение, указанное в спецификации для разрешенного функционирования (0,8 В).

Установка последовательности включения

Запуск модуля может быть задержан при подключении к выводу ENABLE внешнего конденсатора. Это свойство является полезным при включении нескольких преобразователей POL в системе, требующей определенной последовательности включения питания при различных низковольтных нагрузках. Задержка включения составляет приблизительно 1 мс на 1 мкФ ёмкости. Более точное значение внеш-

Таблица 1. Технические характеристики материалов Chomerics

Материал	Теплопроводность, Вт/м К	Температурный диапазон, °С	Данные по выделению газа, %TML/%CVCM	Рекомендации по монтажу
CHO-THERM 1671 ¹	2,6	-60...200	0,76 0,07	Грубо обработанные поверхности
CHO-THERM T1680 ²	0,65	-60...200	1,27 0,23	Гладкие поверхности
THERMATTACH T404 ²	0,4	-30...125	Нет	Гладкие поверхности

¹Материал Cho-Therm T1671 является хорошим выбором для монтажа на грубо обработанные поверхности. Этот материал имеет стекловолоконный барьер с чувствительностью адгезии к давлению с одной стороны. Если необходимо, он может быть поставлен с PSA на двух сторонах.

²Клейкие ленты Thermattach T404 и Cho-Therm T1680 являются двумя наилучшими средствами для монтажа к печатной плате. Обе имеют изолирующий барьер Kapton с обеих сторон, с чувствительной к прижимному усилию адгезии (pressure sensitive adhesive – PSA).

Таблица 2. Значения ёмкости на входе ENABLE для задержки запуска

Ёмкость (C _T)	Ёмкость на входе ENABLE: задержка от момента разблокировки до начала повышения выходного напряжения (25°С)											Единица измерения
	0,22	0,33	0,47	0,68	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	10	
Входное напряжение 3,3 В	0,8	1,1	1,6	2,2	3,1	4,6	6,7	1,0	14,1	20,2	29,7	мс
Входное напряжение 5 В	0,4	0,5	0,7	0,9	1,3	1,8	2,6	3,9	5,5	7,8	11,4	мс

ней ёмкости может быть найдено в таблице 2, с поправкой на изменение входного напряжения.

Указанная в таблице задержка – это время от начала приложения входного напряжения до момента начала внутреннего преобразования напряжения. Существует дополнительная задержка, когда преобразователь начинает нормальный цикл запуска и быстрое линейное нарастание до конечного выходного напряжения.

Модуль MFP оснащён функцией внешней синхронизации (см. рис. 4) частоты преобразования, которая является важнейшим свойством для конструкций с низким уровнем помех. Внутренний генератор может быть синхронизирован с частотой системного тактового генератора или источником напряжения шины. Модуль MFP разработан для синхронизации с частотой 300 кГц, но может быть синхронизирован генераторами с частотой до 400 кГц в диапазоне частот, используемом во многих DC/DC-преобразователях. В синхронизированной системе предотвращается генерирование низкочастотных гармоник в звуковом диапазоне частот. Допускается отклонение амплитуды входного сигнала на входе синхронизации в диапазоне 3...6 В. Частота преобразования зависит от температуры и входного напряжения.

Период синхронизации внешнего сигнала синхронизации может быть различным для систем, использующих тактирование с широким спектром, или для чередования синхронизирующих импульсов ведомых распределённых устройств.

Уровень постоянного напряжения на выводе SYNC может быть использован для определения состояния ключа защиты входных цепей (см. ниже). Диапазон входного напряжения для нормальных условий работы составляет 3...6 В постоянного тока (см. рис. 5). Вывод V_{IN} Common подключается к V_{OUT} Common и заземлению корпуса. В конструкции системы питания входные и выходные цепи должны использовать один и тот же земляной слой.

Дополнительные функции блокирования входа

Во входном каскаде модуля MFP имеется полупроводниковый ключ (SSS – solid state switch). Этот ключ размыкается во время аварийных режимов, включая понижение входного напряжения ниже минимального значения и

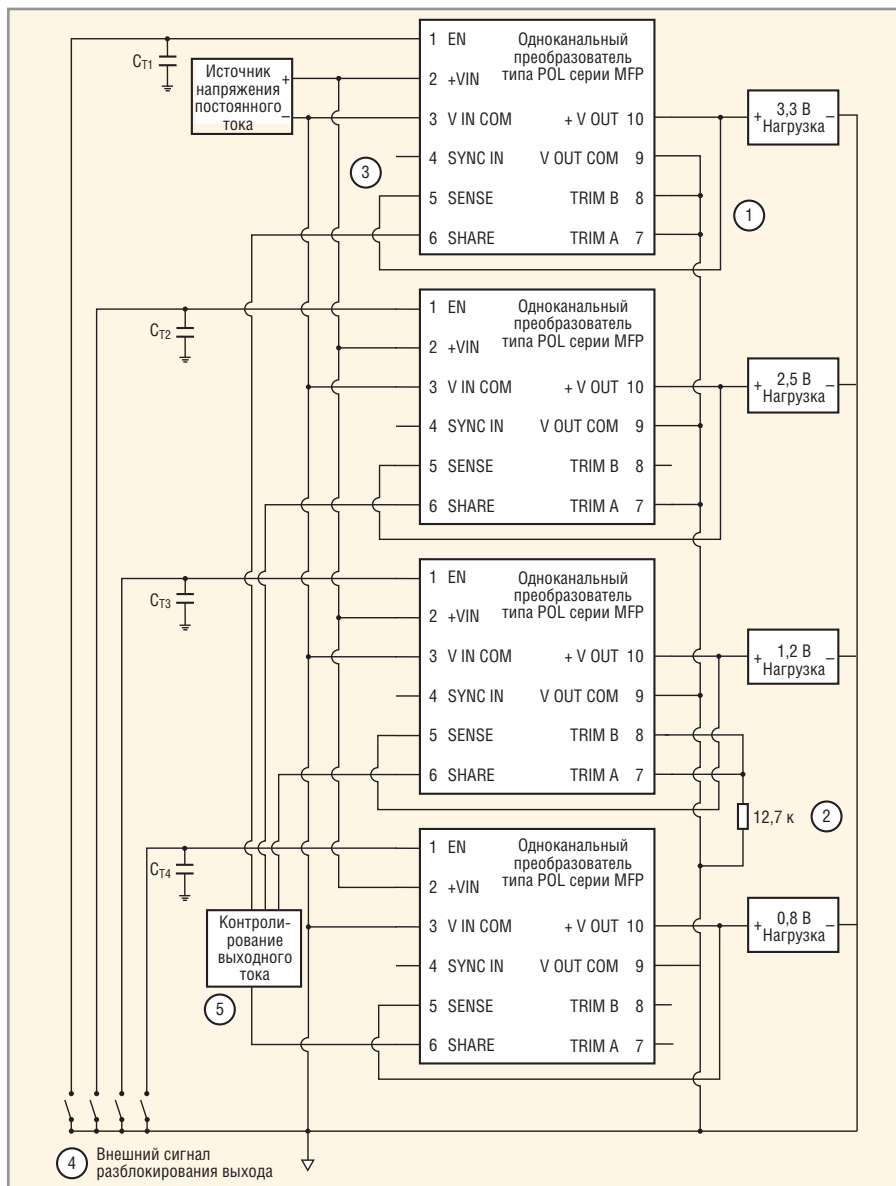


Рис. 3. Типичная схема соединений модулей MFP с использованием выводов ENABLE, TRIM, SENSE и I_{OUT} Monitoring

Цифрами в кружках обозначены: 1 и 2 – выводы 7 TRIM A и 8 TRIM B, предназначенные для установки выходного напряжения; 3 – вывод 5 Remote SENSE, предназначенный для обеспечения точной стабилизации выходного напряжения на зажимах нагрузки; 4 – вывод 1 ENABLE, предназначенный для дистанционного включения/выключения модуля и формирования последовательности выключения модулей в системе; 5 – вывод 6 SHARE, предназначен для равномерного распределения выходного тока между модулями при параллельном включении

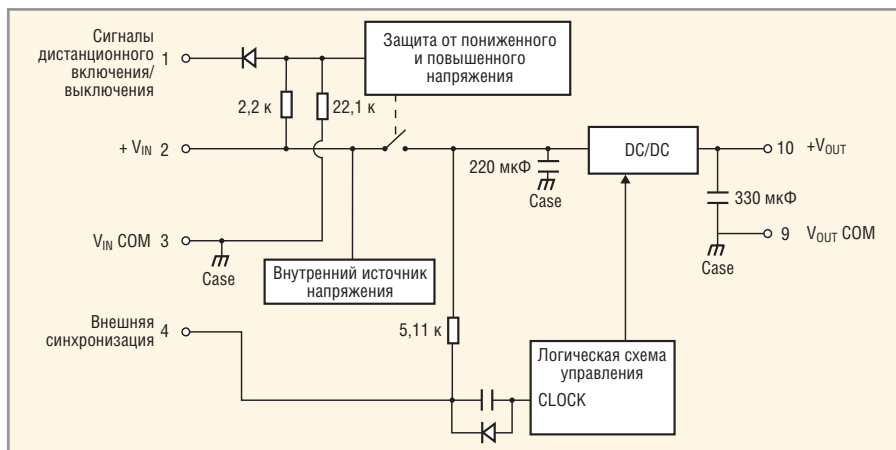


Рис. 4. Эквивалентная схема для сигналов дистанционного включения/выключения (ENABLE) и внешней синхронизации (SYNC)

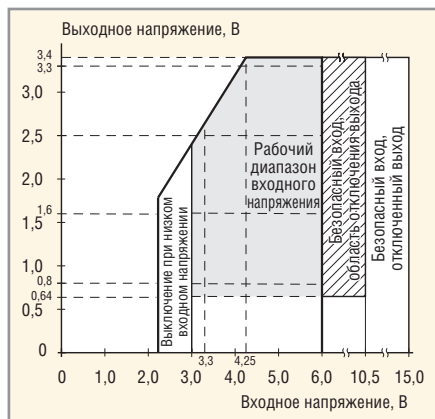


Рис. 5. Зависимость входного напряжения от максимального выходного напряжения

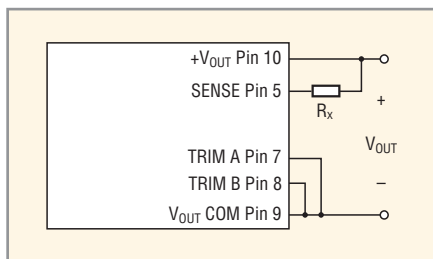


Рис. 6. Схема использования вывода SENSE для увеличения выходного напряжения VOUT с 3,3 до 3,5 В

выбросы напряжения выше максимального значения. Диапазон безопасной работы включает заземление и 7 В без ограничения по времени. Ключ будет замкнут только при соблюдении

определённых внутренних условий, включая правильную работу внутреннего источника напряжения и безопасный диапазон входного напряжения.

Полупроводниковый ключ может быть использован для обеспечения дополнительного уровня надёжности, когда «нет ни одной точки в аварийном режиме» (no single point failure). Ключ может быть разомкнут заземлением вывода ENABLE. Состояние ключа может быть определено считыванием напряжения на выводе SYNC. Уровень лог. 0 на этом выводе указывает, что полупроводниковый ключ разомкнут.

Конденсатор большой ёмкости, установленный на входе, и входной полупроводниковый ключ, описанный ранее, предназначены для обеспечения взаимосвязанного ограничения пускового тока. Весьма низкое значение шума на входе и ограничитель пускового тока делает MFP уникальным среди преобразователей типа POL.

Модуль MFP оснащён измерительным входом обратной связи. Вывод SENSE предназначен для поддержания предварительно установленного напряжения путём подключения к выводу +VOUT источника питания в непо-

средственной близости от нагрузки. Эта функция позволяет компенсировать до 0,3 В падения напряжения на питающей линии при медленных изменениях тока нагрузки. В том случае, когда вывод SENSE не подключён к выводу положительного напряжения модуля, выходное напряжение повысится на 0,4 В.

Выходное напряжение может быть увеличено относительно предустановленного значения не более чем на 0,2 В включением резистора между положительным выводом SENSE и выводом выходного напряжения. Величина повышения выходного напряжения уменьшит доступный диапазон регулирования внешней связью на то же самое значение. Сумма увеличенного напряжения и падения напряжения на проводниках не должна превышать 0,2 В. Увеличение напряжения дополнительным резистором может быть использовано для регулировки выходного напряжения VOUT от 3,3 до 3,5 В.

Соединения должны быть сделаны как можно ближе к выводу Common и к резистору Rx (см. рис. 6). Этот способ использует функцию компенсации напряжения вывода SENSE для повышения выходного напряжения. Следовательно, отсутствует возможность компенсации падения напряжения на нагрузке.

В том случае, когда нет падения напряжения на питающей линии, значение резистора Rx (Ом) определяется по формуле:

$$R_x = \frac{1000}{\frac{0,2697}{V_{OUT} - 3,3} - 1}$$

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДНОГО ТОКА

Функция распределения выходного тока обеспечивает работу нескольких модулей как единого модуля, способного обеспечить полный ток, который является суммой максимальных токов каждого из модулей, включённых параллельно. При параллельном включении модулей выводы SHARE соединяются, а выводы ведущего модуля TRIM A и TRIM B подключаются к выводу SENSE. Выводы TRIM ведущего модуля используются для установки желаемого выходного напряжения, в то время как другие, параллельно включённые модули, будут выравнивать ток и напряжение ведущего модуля (см. рис. 7).

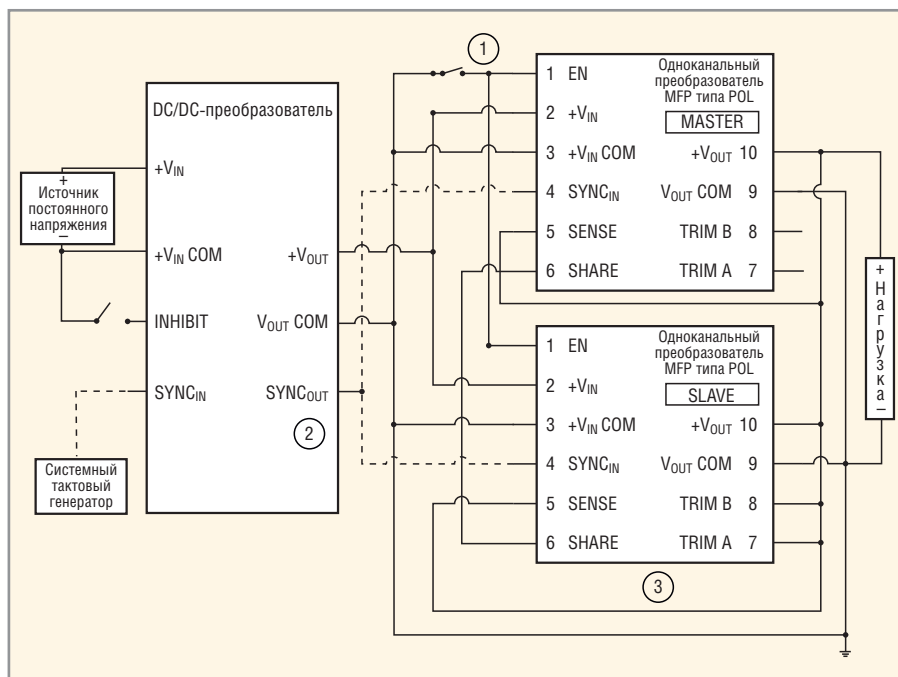


Рис. 7. Типовая схема использования выводов выравнивания выходного тока SHARE и внешней синхронизации SYNC при параллельном включении модулей MFP

Цифрами в кружках обозначены: 1 — вывод 1 ENABLE, дистанционное включение/выключение модуля; 2 — вывод 4 SYNC, синхронизация частоты работы модуля внешним частотным сигналом; 3 — выводы 7 TRIM A и 8 TRIM B, применение выводов установки выходного напряжения при параллельном соединении модулей и вывода SHARE для контроля за выходным током и обеспечения работы модуля в режиме генератора тока, управляемого напряжением, приложенным к выводу SHARE

Вывод SHARE может быть использован для текущего контроля выходного тока, так как напряжение на нём пропорционально выходному току модуля (см. рис. 3). Вывод SHARE также может быть использован для управления модулем MFP в качестве генератора тока, управляемого напряжением, поскольку выходной ток будет пропорциональным приложенному напряжению со смещением. Выходные токи, соответствующие напряжению на выводе SHARE, показаны на рисунке 8. Соединения для контроля выходного тока также показаны на рисунке 3.

Следующие два соединения являются важными для распределения тока между двумя модулями. Выводы SHARE двух (или более) модулей должны быть соединены вместе, а выводы TRIM A и TRIM B должны быть соединены вместе и закорочены с выводами VOUT и SENSE каждого из модулей, которые не являются ведущими. Ведущим модулем будет модуль с наивысшим значением предустановленного выходного напряжения. В схеме, показанной на рисунке 7, ведущий модуль с разомкнутыми выводами TRIM обеспечивает на выходе 0,8 В.

Таблица 3. Выходные напряжения, устанавливаемые с использованием конфигурирования выводов или регулировочных резисторов 1, 2

Желаемое напряжение, В	Реконфигурируемые выводы	Регулировочный резистор (R_T) ¹ между выводами «общий» и 7, 8, кОм
0,64	Фиксированный вывод SENSE V_S	Оба вывода 7 и 8 соединены с выводом SENSE (5)
0,8	Неизменное V_1	Оба вывода 7 и 8 разомкнуты
0,9	Устанавливается регулировкой	–
1,0	Устанавливается регулировкой	–
1,2	Устанавливается регулировкой	–
1,5	Устанавливается регулировкой	–
1,6	Неизменное V_2	Вывод TRIM A (7) разомкнут Вывод TRIM B (8) соединён с землёй
1,8	Устанавливается регулировкой	–
2,0	Устанавливается регулировкой	–
2,5	Неизменное V_3	Вывод TRIM A (7) соединён с землёй TRIM B (8) разомкнут
3,3	Неизменное V_4	Оба вывода 7 и 8 соединены с землёй

¹Значения резистора R_T (кОм) в таблице при выходных напряжениях V_{OUT} ниже 3,3 В и выше 0,8 В определяются по формуле $R_T = 6,031 / (V_{OUT} - 0,804) - 2,4$.

²Для установки выходного напряжения в диапазоне от 3,3 до 3,5 В см. раздел, описывающий функцию SENSE, и рис. 6

Выводы TRIM A и TRIM B: установка выходного напряжения

В одноканальном модуле MFP0507S есть возможность установки на выходе любого напряжения в диапазоне от 0,64 до 3,3 В. Модуль MFP имеет пять выходных предварительно установленных напряжений, которые доступны при подключении к

нагрузке соответствующего вывода без регулировочного резистора. Разомкнутая цепь на обоих выводах TRIM обеспечивает выходное напряжение 0,8 В; заземление одного из выводов или обоих выводов обеспечивают точные выходные напряжения 1,6; 2,5 или 3,3 В. Ещё одно предварительно установленное напря-



Фастеко 2002–2011:
новейшая история российской электроники

ВЕРНЫЙ КОНТАКТ В КАЖДОЙ ТОЧКЕ ПРОЕКТА

9 лет • 1010 клиентов • 1500 проектов/3450 заказов



Монтаж печатных плат

Уникальные автоматизированные технологические линии для SMT и TNT (DIP) монтажа. Все виды работ стандарта ГОСТ и IPC.



Сборка приборов, стоек, шкафов

Производство электроники полного цикла.



Поставка печатных плат

Fasteko является генеральным дистрибьютором компании SEP (Корея), одного из мировых лидеров среди производителей печатных плат.



Электронные компоненты отечественного и импортного производства

Поставка радиоэлектронных компонентов и производство полупроводниковой светотехники.

Контрактное производство электроники любой категории сложности

Тел.: (495) 739-07-75, факс: (495) 739-07-76, e-mail: product@fasteko.ru; web: www.fasteko.ru

Приглашаем на стенд компании Доломант № 1-09 на выставке «Экспоэлектроника–2011»

Реклама

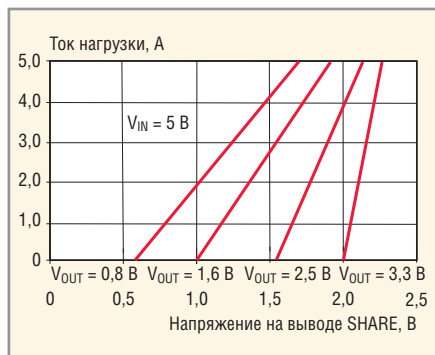


Рис. 8. Использование вывода SHARE для контроля тока нагрузки: представлены значения выходных токов, соответствующих напряжениям на выводе SHARE

жение возможно с использованием вывода SENSE (вывод 5). Соединение обоих выводов TRIM с положительным выводом SENSE обеспечивает на выходе модуля напряжение 0,64 В. Промежуточные значения выходных напряжений могут быть установле-

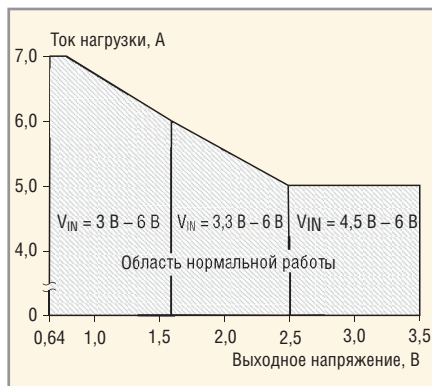


Рис. 9. Максимальные значения выходного тока при различных выходных и входных напряжениях

ны внешними регулировочными резисторами, включёнными между выводами TRIM и землёй.

Любое напряжение с промежуточным значением относительно предварительно установленных напряжений формируется добавлением регулиро-

вочного резистора между выводами Common и обоими выводами TRIM. В таблице 3 представлены выходные напряжения, обеспечиваемые соединением выводов и регулировочных резисторов.

**Выводы 9 и 10:
+V_{OUT} и V_{OUT} Common**

Топология понижающего преобразователя напряжения требует, чтобы выходное напряжение модуля MFP было всегда ниже, чем входное напряжение, по меньшей мере на 0,8 В. Точные значения допустимых выходных напряжений и токов как функции входного напряжения V_{IN} показаны на рисунке 9.

Контроль качества и доступные модели

Продукция компании Crane Electronics, Inc, предназначенная для длитель-

Таблица 4. Последовательность контроля качества изделий Class H и Class K, MIL-PRF-38534

Выполняемые проверки	NON-QML ¹		QML ²					
	/ST	/WT	CLASS H			CLASS K		
			/883	/HP	/HR	/KP	/KR	/KF
Неразрушающий контроль соединений вытягиванием, Method 2023				+	+	+	+	+
Контроль перед корпусированием, Method 2017, 2032	+	+	+	+	+	+	+	+
Термоциклирование (10 раз), Method 1010, Condition C, -55...+150°C		+	+	+	+	+	+	+
Постоянное ускорение (центрифуга), Method 2001, 3000 g (Qual 5000 g)		+	+	+	+	+	+	+
PIND (обнаружение свободных частиц внутри корпуса), Test Method 2020, Condition A		+	+3	+3	+3	+	+	+
Контроль электрических параметров перед тестированием при крайних температурах			+	+	+	+	+	+
Электротермотренировка, Method 1015, +125°C, тип. ⁴ 96 ч 160 ч 2 × 160 ч (включая mid-BI test)		+	+	+	+	+	+	+
Окончательный контроль по электрическим параметрам, MIL-PRF-38534, Group A, Subgroups 1 и 4: +25°C (корпус) Subgroups от 1 до 6, -70, +25, +150°C (корпус) Subgroups от 1 до 6, -55, +25, +125°C (корпус)	+	+	+	+	+	+	+	+
Герметичность корпуса								
Большие течи, Dip (1 × 10 ⁻³)	+	+						
Большие течи, Method 1014, Condition C			+	+	+	+	+	+
Малые течи, Method 1014, Condition A			+	+	+	+	+	+
Рентгенография, Method 2012						+	+	+
Контроль электрических параметров после рентгеновского радиографического контроля, +25°C (корпус)						+3	+3	+3
Визуальный внешний контроль, Method 2009	+	+	+	+	+	+	+	+
RNA P: суммарная доза 30 крад (Si) ⁵				+		+		
RNA R: суммарная доза 100 крад (Si) ⁵					+		+	
RNA F: суммарная доза 300 крад (Si) ⁶								+
Отсутствие одиночных эффектов SEE (Single Event Effects) при LET (пороговые линейные потери энергии) заряженной частицы в веществе до 85 МэВ см ² /мг				+	+	+	+	+

Примечания:

¹/ST (стандартное) и /WT (расширенный диапазон температур) являются изделиями, не внесёнными в Перечень сертифицированных изделий, и могут не соответствовать всем требованиям технических условий MIL-PRF-38534.

²Все процедуры сертифицированы и выполняются сертифицированными операторами.

³Не требуется Центром снабжения Министерства обороны США, но выполняется для гарантирования качества изделия. PIND-контроль наличия в корпусе изделия посторонних частиц. Изделие подвергается вибрации с частотой 40...250 Гц, а акустический датчик регистрирует шум, возникающий при соударении частиц при вибрации.

⁴Температура корпуса повышается до +125°C (минимум).

⁵Осуществляется при небольшой мощности дозы облучения до номинальной суммарной дозы.

⁶Применяется небольшая мощность (LDR) дозы до суммарной дозы 100 крад.

ных специфических условий эксплуатации, подвергается эффективным отбраковочным испытаниям по ряду прямых и косвенных электрических признаков. В таблице 4 приведены установленные действующим в США военным стандартом MIL-STD-883G и техническими условиями MIL-PRF-38534 состав и последовательность испытаний, вводимых с целью выявления потенциально ненадежных изделий. Отбраковка потенциально ненадежных изделий за счёт дополнительных испытаний позволяет повысить надёжность продукции на порядок.

В настоящее время поставляются модули DC/DC-преобразователей серии MFP в исполнении Class H (для применения в вооружении военной техники) для эффективной отбраковки потенциально дефектных изделий, подвергающиеся при производстве испытаниям, указанным в таблице 4. В конце 2011 г. планируется начать поставки радиационно-стойких модулей серии MFP по Class K (для применения в аппаратуре ракетно-космической техники) со специфицированными значениями суммарной дозы ионизирующего излучения 30 и 100 крад (Si) и гарантиро-

ванным отсутствием одиночных эффектов при воздействии протонов и ионов естественных радиационных поясов Земли, солнечных и галактических космических лучей при значенных пороговых линейных потерь энергии (ЛПЭ) ионов в веществе до 85 МэВ см²/мг. Более подробно методика испытаний радиационно-стойких модулей DC/DC-преобразователей на воздействие ионизирующих излучений и потоков заряженных частиц, а также текущая номенклатура радиационно-стойких моделей компании Crane Electronics, Inc (торговая марка Interpoint™) представлена в [9–11].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жданкин В.К.* Преобразователи напряжения для современных высокопроизводительных цифровых систем. Современные технологии автоматизации. 2002. № 4. С. 40–50.
2. *Козенков Д.* Выбор архитектуры источника питания. Электронные компоненты. 2004. № 6. С. 69–74.
3. *Чанов Л.* Микросхемы силовой электроники в распределённых системах электропитания. Электронные компоненты. 2006. № 6. С. 45–48.

4. *Гринланд П.* Разработка системы питания устройства с использованием POI-преобразователей. Электронные компоненты. 2009. № 6. С. 17–19.
5. *Лукин А.В.* Распределённые системы электропитания. Электронные компоненты. 1997. № 7; 1998. № 2, 3.
6. *Гудинаф Ф.* Повышение КПД импульсных источников питания более 90%. Электроника. 1993. № 14. С. 58–61.
7. *Мионов А.* Применение синхронных выпрямителей в импульсных стабилизаторах напряжения. Радио. 2002. № 5. С. 38–39.
8. Maximum Flexible Power (MFP) Single Output Point of Load MFP0507S Rev F – 2011.02.01. Crane Aerospace & Electronics.
9. *Жданкин В.К.* Радиационно-стойкие изделия силовой электроники фирмы Interpoint. Современная электроника. 2004. № 2. С. 46–50.
10. *Жданкин В.К.* Устойчивость гибридных DC/DC-преобразователей к воздействию ионизирующих излучений космического пространства. Современные технологии автоматизации. 2005. № 3. С. 6–26.
11. *Жданкин В.К.* Результаты испытаний радиационно-стойких DC/DC-преобразователей фирмы Interpoint воздействием ионизирующих излучений низкой и высокой интенсивности. Современная электроника. 2006. № 4. С. 32–37. ©

TDK-Lambda ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ –

МОЩЬ И ИНТЕЛЛЕКТ



Серия ZUP

Серия ZUP (Zero-Up)

- Выходная мощность 200/400/800 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485 (GPIB по заказу)
- Универсальный вход 85-265 В переменного тока
- Выходные напряжения до 120 В, ток нагрузки до 132 А
- Программная калибровка

Применения ZUP и Genesys™

- Автоматическое испытательное оборудование
- Управление технологическими процессами
- Электротермотренировка полупроводниковых изделий
- Лазеры



Серия Genesys™

Серия Genesys™

- Выходная мощность 750/1500/2400/3300/5 000/10 000/15 000 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485 (GPIB IEEE488/488.2 SCPI, LAN по заказу)
- Выходные напряжения до 600 В, ток нагрузки до 1000 А
- Конфигурирование посредством внешнего напряжения/тока и ПО
- Драйверы LabView и LabWindows
- Высота 1U, 2U и 3U

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ TDK-LAMBDA

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

Реклама

Тонкоплёночные платиновые чувствительные элементы термометров сопротивления при монтаже и эксплуатации

Александр Ядевич (г. Минск, Беларусь)

В статье рассмотрены некоторые параметры тонкоплёночных платиновых чувствительных элементов, оказывающих влияние на процесс изготовления термометров сопротивления и их последующую эксплуатацию.

ВВЕДЕНИЕ

Долговечность и надёжность даже в критических условиях применения приобретает всё возрастающие значения для чувствительных элементов (ЧЭ) термометров сопротивления (ТС). Высокая чистота и химическая устойчивость, а также физические свойства платины определяют её использование в качестве материала для ЧЭ.

С внедрением тонкоплёночной технологии в 1970-х годах началось развитие специальных версий температурных ЧЭ для массовых рынков. Накопленный опыт и постоянное стремление к совершенствованию позволяет сегодня изготавливать сравнительно дешёвые тонкоплёночные платиновые ЧЭ и корпусированные температурные датчики с применением современных производственных методов, таких как вакуумное напыление и фотолитография. На рынке доступны температурные датчики со значениями номинального сопротивления 100, 200, 500, 1000, 2000 и 10 000 Ом.

Фирма Heraeus Sensor Technology (HST) поставляет сегодня на мировой рынок долговечные, точные и воспроизводимые тонкоплёночные

платиновые ЧЭ и температурные датчики. Основанием для рыночного превосходства является не только владение свойствами материалов и процессами нанесения различных слоёв и покрытий, но и применение надёжных технологических процессов производства, продуманного и чёткого управления качеством продукции.

Кроме нескольких десятков миллионов температурных датчиков, фирма HST производит также датчики потока газовой массы для систем управления катализатором дизельных двигателей и мультисенсорные платформы, используя свои наработки в области тонкоплёночных технологий на основе платины.

Основными потребителями температурных датчиков фирмы HST являются производители автомобилей, бытовой техники, приборов управления технологическими процессами, техники для отопления и вентиляции, для научных исследований в области естествознания и электроники и высокотехнологичных производств.

Все стандартные платиновые тонкоплёночные температурные датчики фирма HST изготавливает с соблюде-

нием современных норм по RoHS и REA, позволяющих обеспечить требуемый уровень защиты здоровья людей и окружающей среды.

Фирма HST классифицирует производимые тонкоплёночные платиновые температурные сенсоры следующим образом:

- ЧЭ термометров сопротивления с проволочными выводами:
 - С – для криогенных температур (–196...500°C),
 - L – для низких температур (–50...400°C),
 - M (MN, MH) – для средних температур (–70...600°C),
 - H (HA, HD, HL) – для высоких температур (–70...1000°C);
- сенсорные компоненты в корпусах для поверхностного монтажа SMD, SOT 223 и TO 92;
- температурные датчики специальной конструкции (L 622 DBC, LG, PCB, MR 518 G, MR 828/845);
- сенсорные модули (MSP 332, MSP 632, MSP 769, микронагреватель Pt 6,8 M1020).

Классы допуска

Фирма HST поставляет платиновые температурные датчики в соответствии с DIN EN60751. Классы допуска для плёночных ЧЭ представлены в таблице 1.

Используя тонкоплёночные платиновые температурные сенсоры фирмы HST, можно изготавливать термометры либо использовать в качестве термометров датчики с классами допуска, представленными в таблице 2.

Кроме того, тонкоплёночные платиновые ЧЭ могут группироваться по допуску с максимальным $\Delta t = 0,1$ К в диапазоне от 0 до 100°C. Имеются также ЧЭ с иными классами допуска для других ценовых диапазонов, например 1/10 В, или с классом допуска 2В и $\pm 0,5\%$.

Ниже приведены некоторые технические и технологические параметры, обеспечивающие выполнение основных технических требований к тонкоплёночным платиновым ЧЭ тер-

Таблица 1. Классы допуска для плёночных ЧЭ

Класс допуска	Диапазон измерений, °C	Предельное отклонение, °C
F 0,1	От 0 до +150	$0,1 + 0,0017 t $
F 0,15	От –30 до +300	$0,15 + 0,002 t $
F 0,3	От –50 до +500	$0,3 + 0,005 t $

Таблица 2. Классы допуска для термометров

Класс допуска	Диапазон измерений, °C	Предельное отклонение, °C
AA	От 0 до +150	$0,1 + 0,0017 t $
A	От –30 до +300	$0,15 + 0,002 t $
B	От –50 до +500	$0,3 + 0,005 t $

мометров сопротивления и влияющие на их эксплуатационные характеристики.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТОК И САМОНАГРЕВ

Прохождение тока нагревает тонкоплёночные платиновые ЧЭ. Чем меньше измерительный ток, тем меньше самонагрев ЧЭ и, соответственно, ниже погрешность измерения. Коэффициент самонагрева указывается в характеристике каждого типа ЧЭ. Он зависит в первую очередь от термического контакта между ЧЭ и окружающей средой. Если теплопередача в окружающую среду является эффективной, может применяться больший ток измерения.

Для тонкоплёночных платиновых ЧЭ не устанавливается нижняя граница тока измерения. Измерительный ток зависит в значительной мере от условий применения термометра. Рекомендуемый ток измерения:

- 100 Ом – макс. 1 мА,
- 500 Ом – макс. 0,7 мА,
- 1000 Ом – макс. 0,3 мА,
- 2000 Ом – макс. 0,25 мА,

- 10000 Ом – макс. 0,1 мА.

Ошибка от самонагрева возникает в том случае, когда тонкоплёночный платиновый ЧЭ нагружается большим током, чем рекомендуемый. Чувствительный элемент с высоким номинальным сопротивлением, например Pt 1000, по сравнению с Pt 100 (при том же токе) имеет большую ошибку самонагрева. Чувствительный элемент меньшего размера, например М 222, по сравнению с М 1020 (с одинаковым текущим и номинальным сопротивлением) имеет большую ошибку самонагрева.

СТАБИЛЬНОСТЬ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ПЛАТИНОВЫХ ЧЭ

Эффект старения температурных сенсоров вследствие долговременной эксплуатации или термоциклических воздействий может негативно влиять на точность воспроизводимого сигнала. По этой причине долговременная стабильность ЧЭ имеет в некоторых случаях первостепенное значение.

Вследствие высокой химической стабильности и гомогенности приме-

няемой платины, температурные сенсоры на её основе являются чрезвычайно стабильными температурными датчиками. В зависимости от температурных условий изменение сопротивления после пяти лет эксплуатации при 200°C обычно составляет менее 0,04%. Стандартные условия испытаний охватывают 250, 500 и 1000 ч.

Погрешность может стать значительной, если тонкоплёночный ЧЭ подвергся циклическому изменению температуры в граничной области его допустимого температурного диапазона. Тонкоплёночные ЧЭ типа М подвергались циклическому изменению температуры в диапазоне от -30 до +120°C и показали изменение сопротивления менее 0,01%.

Термоциклические и долговременные испытания могут проводиться и по индивидуальным требованиям конкретного потребителя.

ВРЕМЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Время термической реакции – это время, которое необходимо тонкоплёночному платиновому ЧЭ, чтобы среагировать изменением сопротивления

Heraeus
Мировой производитель платиновых датчиков температуры

ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ПЛАТИНОВЫЕ датчики температуры

Датчики для измерения и регулировки температуры от -200 °C до 1000 °C

Официальный представитель Heraeus Sensor Technology в странах СНГ ОДО «МСМ»
ул. Шафарнянская, 11, БЦ «Порт», оф. 76
220125 г. Минск, РБ
Тел./факс: +375-17-286-36-60
E-mail: mcm@mail.belpak.by; www.mcm-sensor.ru; www.heraeus-sensor-technology.ru

Представитель Heraeus Sensor Technology в России ООО «Сенсорика»
1-ый Щемилковский пер., д. 16, строение 2
103473 г. Москва, Россия
Тел./факс: + 495 223-0038
E-mail: info@sensorica.ru; www.sensorica.ru

Реклама

на ступенчатое изменение температуры. В DIN EN 60751 рекомендовано время для 50 и 90% того изменения, которое указывается в характеристиках тонкоплёночных платиновых ЧЭ для потока воды и воздуха со скоростями 0,4 и 2,0 м/с соответственно. Пересчёт на другие среды и скорости производится с помощью справочника VDI /VDE 3522.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Платиновые тонкоплёночные ЧЭ практически не вырабатывают термоэлектродвижущей силы. Разность потенциалов может возникать вследствие разности температур вдоль самого ЧЭ. Вследствие её незначительной величины и в связи с высокой теплопроводностью керамической (Al_2O_3) подложки, она может не учитываться.

Типичная погрешность, которая может возникать в некоторых случаях, составляет для ЧЭ типа М с номинальным сопротивлением 1000 Ом менее 0,005°C. При использовании переменного тока эта погрешность ещё меньше.

МЕХАНИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Платиновые тонкоплёночные ЧЭ чувствительны к механическим нагрузкам, которые при экстремальных условиях могут привести к разрушению или растрескиванию стеклянного защитного покрытия или керамической подложки. Неправильное обращение или непригодные способы монтажа могут привести к изменению измеряемого сигнала. Необходимо строго соблюдать указания по применению ЧЭ.

Выводы для крепления соединительных проводов в процессе изготовления подвергаются испытаниям на рас-

тяжение и отрыв. В случае никелевой проволоки с платиновым покрытием изделия являются пригодными, если аксиальная нагрузка составляет не более 8 Н (кроме случаев герметизации стеклом или керамикой).

ТЕХНИКА МОНТАЖА

Температурные датчики являются высокоточными элементами, и поэтому необходимо обеспечить бережное обращение с ними во время монтажа. В качестве захватов можно рекомендовать пластмассовые пинцеты. Токоподводящие провода вблизи корпуса сенсора не должны изгибаться. Необходимо избегать также многократного изгиба присоединительных проводов.

В таблице 3 приведены рекомендуемые технологические способы соединения выводов сенсоров с удлинительными проводами в зависимости от материала выводов (рекомендации HST).

Следует иметь в виду, что уменьшение или удлинение контактных проводов влияет на результаты измерений. Это особенно важно для ЧЭ с низким номинальным сопротивлением.

Наилучшие результаты по надёжности соединения выводов тонкоплёночных ЧЭ с удлинительными проводами в ТС (кроме типов С и L) достигаются при использовании контактной, лазерной или ультразвуковой сварки. При ультразвуковой сварке выводы тонкоплёночных ЧЭ следует отогнуть от плоскости тела датчика, чтобы исключить внутренние повреждения.

Хорошие результаты достигаются также пайкой как «мягкими», так и «твёрдыми» припоями. Используются любые припои, рекомендованные для пайки конкретных материалов выводов ЧЭ и материалов проводников. Для ЧЭ типов С и L наилучшие результаты

по надёжности соединения достигаются при пайке «мягкими» припоями. При твёрдой пайке необходимо следить за тем, чтобы корпус датчика не нагревался до температур, превышающих максимальную измеряемую температуру. При твёрдой пайке время процесса не должно превышать 3 с.

Механические способы монтажа ЧЭ при изготовлении ТС, такие, например, как обжимка или опрессовка, также пригодны для удлинения токоподводящих проводов. При механических способах монтажа необходимо избегать высокого электрического сопротивления в месте соединения. Чтобы обеспечить минимальное контактное сопротивление, рекомендуется использовать газонепроницаемую оболочку.

При всех способах монтажа необходимо следить за тем, чтобы коэффициенты термического расширения различных применяемых материалов согласовывались друг с другом. Это позволит избежать механических напряжений, которые могут влиять на сигнал датчика. Позицию присоединённого ЧЭ в термометре сопротивления ни в коем случае нельзя изменять за счёт дополнительного перемещения тела сенсора.

СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПРОВОДОВ

Стандартная двухпроводная схема соединения внутренних проводов не всегда обеспечивает высокую точность ТС; ГОСТ 8.625–2006 для ТС классов допуска АА и А не допускает использования двухпроводной схемы соединения. Трёх- или четырёхпроводную схему соединения рекомендуется использовать:

- при длинном кабеле, сопротивление и температурная зависимость сопротивления которого имеют существенные значения;
- для тонкоплёночных платиновых ЧЭ с высоким классом допуска;
- при значительных электромагнитных помехах.

ХРАНЕНИЕ ЧЭ

При хранении тонкоплёночные платиновые ЧЭ не должны подвергаться воздействию агрессивных и коррозионных сред. Для отдельных типов сенсоров необходимо соблюдать особые правила хранения.

Для тонкоплёночных платиновых ЧЭ с выводами для крепления соеди-

Таблица 3. Технологические способы соединения выводов датчиков с удлинительными проводами

Тип датчика	Диапазон измерений, °C	Материал выводов	Способ соединения			
			Сварка	Пайка твёрдым припоем	Пайка мягким припоем	Обжимка, опрессовка
C	-196...500	AgPd	-	-	+++	++
L	-50...400	AgPd	-	-	+++	++
M	-70...500	Ni в Pt-оболочке	+++	++	++	++
MN	-70...500	Ni	+++	++	-	++
NM	-70...600	Pd в Pt-оболочке	+++	++	0	0
HL	-70...750	Ni/Cr в Pt-оболочке	+++	++	0	0
HD	-70...850	Pt	+++	0	0	0
HA	-70...1000	Pt	+++	0	0	0

+++ – очень хорошо

++ – хорошо

0 – не рекомендуется применять

-- не применять

нительных проводов особые условия хранения необходимы только для типов I и C, у которых выводы изготовлены из проволоки AgPd. При неправильном хранении и отсутствии защиты на поверхности образуется слой Ag₂O (коричневый) и, соответственно, Ag₂S (чёрный). Следствием этого является снижение способности к пайке мягкими припоями.

Поскольку этот процесс зависит от условий окружающей среды, защиту тонкоплёночных платиновых ЧЭ можно осуществлять, если их хранить в атмосфере азота, в вакууме или в закрытой упаковке, например, полиэтиленовом мешочке, дополнительно обернутом алюминиевой фольгой.

Оксиды, уже образовавшиеся на поверхности, легко удаляются кратковременным нагревом ЧЭ, например, до температуры 350°C (тип I).

Тонкоплёночные ЧЭ типа M с PtNi-выводами не имеют проблем со сроком хранения.

ЛИТЕРАТУРА

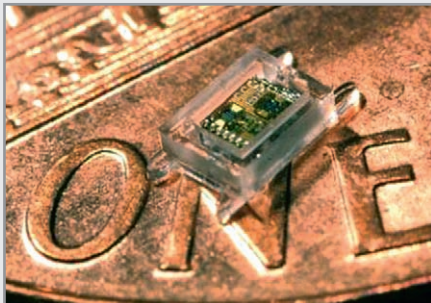
1. www.heraeus-sensor-technology.ru.
2. www.mcm-sensor.ru.
3. ГОСТ Р 8.625-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
4. IEC 60751 (2008) Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors.
5. Ядевич А. Платиновые тонкоплёночные датчики температуры фирмы Heraeus Sensor Technology. Современная электроника. 2006. № 6. С. 36–39.
6. Ядевич А. Тонкоплёночные платиновые чувствительные элементы для термометров сопротивления. Мир измерений. 2010. № 3. С. 52–55.
7. Kleiner, schneller, billiger, besser – neue Platin-Dünnschichtsensoren. Sensor Magazin. 2003. № 3.
8. Hacker G., Rudnizki B. Ever-Stable Platinum Sensors. Sensor Report. 2009. № 3. Р. 6–7.
9. Kerckhoff G. Platin in Dünnen Schichten. Sensor Magazin. 2009. № 2. Р. 34–36.
10. Heraeus Sensor Technology. Надёжные тонкоплёночные датчики температуры. Каталог. 2010.



Новости мира News of the World Новости мира

Первый компьютер миллиметрового масштаба

Специалисты отделения электротехники и вычислительных машин Мичиганского университета построили прототип модуля, который они называют первым в мире компьютером миллиметрового масштаба. Его объём составляет всего 1 куб. мм, а предназначен он для имплантации в глазное яблоко пациентам, страдающих глаукомой.



В столь миниатюрном корпусе уместились микропроцессор ультранизкой мощности, датчик давления, модуль памяти, аккумулятор на тонких плёнках, солнечная батарея, а также радиомодуль с антенной для трансляции данных на внешние устройства. В качестве процессора выступает чип Phoenix третьего поколения, разработанный авторами проекта; чип отличается ультранизким потреблением энергии. Система производит измерения каждые 15 мин и потребляет в среднем 5,3 нВт. Аккумулятор заряжается от солнечной батареи, для чего ему ежедневно требуется 10 ч искусственного света или 1,5 ч настоящего солнечного. Коммерческий выпуск устройства ожидается через несколько лет.

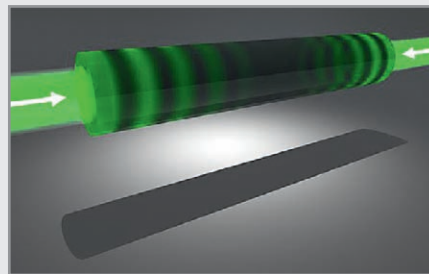
<http://www.slashgear.com/>

Разработан первый в истории антилазер

Группа учёных из Йельского университета в США объявила о том, что им удалось создать работающий прототип устройства, которое практически полностью способно поглощать лазерный луч. Разработка в данном направлении была начата менее года назад.

Устройство, созданное учёными, помещает два направленных в противоположные стороны лазерных луча в специальную оптическую полость, где направление света меняется с прямолинейного на спиральное, благодаря чему лучи гасят друг друга при встрече. Теоретически подобные схемы рассеивания лазерных лучей были известны научному сообществу уже давно, но практическая реализация идеи была осуществлена лишь сейчас.

По словам представителей исследовательской группы, когда они начинали разработку данного устройства, никто даже не думал, что в итоге удастся добиться подобной степени поглощения излучения.



Антилазер, а именно такое название получила новая разработка, имеет огромный потенциал применения в различных сферах науки и техники, включая медицинское

оборудование, компьютерные вычисления, различные исследования и др.

<http://arstechnica.com/>

Учёные научились создавать кубиты на кремнии

Группа учёных из Оксфордского университета (University of Oxford) сделала важный шаг на пути создания быстродействующего квантового компьютера. Исследователям удалось создать 10 млрд. запутанных пар квантовых битов (кубитов) на кристалле кремния. Кубиты считаются основным элементом квантового компьютера, но получить их на кремнии до сих пор не удавалось.

В качестве кубитов учёные использовали спины электронов и ядер атомов фосфора. Кристалл кремния сверхвысокой очистки был легирован фосфором и охлаждён до температуры 2,9°К. С помощью сильного магнитного поля спины электронов фосфора были приведены к одному состоянию, а затем короткими микроволновыми и радиочастотными импульсами были спутаны со спинами атомов. Один из руководителей группы Джон Мортон (John Morton) говорит, что это важное достижение, которое позволит в будущем создать масштабируемый квантовый компьютер на существующей технологической базе. Следующей задачей, которую предстоит решить исследователям, станет создание связи между запутанными парами. Исследователи считают, что такая система уже может найти применение в квантовых вычислениях.

<http://www.physorg.com/>

Высокостабильные миниатюрные и сверхминиатюрные кварцевые генераторы

Анатолий Куталев (Омск)

В статье рассмотрены особенности построения и характеристики миниатюрных и сверхминиатюрных высокостабильных генераторов на основе кварцевых резонаторов-термостатов, разработанных в Омском НИИ приборостроения в период с 1990 по 2010 гг.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всего периода существования кварцевой стабилизации частоты основной задачей являлось повышение стабильности частоты генераторов. Однако в последнее время, благодаря расширению областей использования кварцевых генераторов и быстрому развитию различных проводных и беспроводных систем связи, определяющими стали такие требования, как существенное снижение уровня шумов, повышение частоты, уменьшение времени готовности и энергопотребления, уменьшение габаритов при сохранении необходимой стабильности частоты.

В значительной степени решить эту задачу позволяет переход от традиционного объёмного термостата к кварцевым резонаторам-термостатам (КРТ), у которых термостатируется только пьезоэлемент, помещённый в вакуумированный корпус. Генераторы на основе КРТ имеют в несколько раз меньшие габариты тепловой системы, низкую потребляемую мощность как в режиме разогрева, так и в стационарном режиме, и меньшее время разогрева термостата до рабо-

чей температуры. Совершенствование КРТ позволило обеспечить стабильность частоты и шумовые характеристики генераторов, сравнимые или даже превосходящие таковые у генераторов традиционной конструкции. Основные этапы развития и принципы построения генераторов на основе КРТ можно проследить на примере разработок ФГУП ОНИИП в течение 1990–2010 гг.

ГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ КРТ В СТЕКЛЯННЫХ БАЛЛОНАХ

В конце 1980-х годов был разработан кварцевый резонатор-термостат для использования в высокостабильных опорных генераторах аппаратуры КВ связи IV поколения [1]. Отличием этого резонатора от предыдущих конструкций является то, что в вакуумированном стеклянном баллоне диаметром 19 мм установлены прецизионный кварцевый резонатор, камера тепла, датчик температуры и нагреватель.

Температурная нестабильность частоты КРТ составляла менее 5×10^{-9} в диапазоне $-60...70^\circ\text{C}$ при мощности потребления в нормальных условиях ме-

нее 100 мВт. Время установления частоты с точностью 1×10^{-7} при мощности форсированного разогрева 1,5 Вт не превышало 3 мин.

На основе этого резонатора были разработаны и выпускаются в настоящее время кварцевые генераторы «Гладиолус», «Астра» и «Астра-М» на частоты 8...15 МГц и генераторы «Пион» на частоты 50...130 МГц. Генераторы выполнены с применением унифицированных конструктивных решений и отличаются электрическими схемами и типом пьезоэлемента. Благодаря оптимизации режима работы кварцевого резонатора в схеме и оптимизации параметров терморегулятора генераторы отличаются очень низким уровнем фазового шума.

В связи с разработкой аппаратуры связи V поколения, переходом на новую конструктивную базу, применением поверхностного монтажа появился ряд новых требований к генераторам, в том числе, необходимость дальнейшей миниатюризации при сохранении высоких требований к стабильности частоты [2]. Для решения этой задачи в 1998 г. был разработан кварцевый генератор «Георгин», имеющий суммарную нестабильность частоты менее $\pm 5 \times 10^{-8}$, уровень фазового шума -160 дБ/Гц, время готовности не более 15 с, объём 12 см^3 при высоте корпуса менее 12 мм.

В генераторе использован кварцевый резонатор-термостат в стеклянном баллоне диаметром 10 мм. Малые размеры корпуса потребовали существенного изменения конструкции КРТ. Применение принципа перераспределения мощности позволило обеспечить быстрый разогрев резонатора до рабочей температуры, высокую температурную стабильность и низкий уровень шумов генератора вблизи несущей. Время установления частоты с точностью 1×10^{-7} для серийных образцов КРТ находится в пределах от 8 до 12 с в нормальных условиях. Выпускаются варианты генератора с напряжением питания 12 В (М32008) и 5 В (М23011).

ГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ КРТ В МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ КОРПУСАХ

Использование металlostеклянных корпусов позволяет устранить многие

Технические характеристики кварцевых генераторов серии «Топаз»

Параметр	М32019	М33007	М34001
Частота, МГц	8-13	50	10
Старение после 30 суток непрерывной работы, не более: за сутки за год	$\pm 5 \times 10^{-10}$ $\pm 5 \times 10^{-8}$	$\pm 5 \times 10^{-7}$	$\pm 2 \times 10^{-7}$
Фазовый шум, дБ/Гц (не более) при отстройке			
1 Гц	-80	-	-
10 Гц	-120	-95	-90
100 Гц	-145	-120	-120
1000 Гц	-155	-150	-150
10 000 Гц	-160	-155	-155
Диапазон рабочей температуры	$-40...70^\circ\text{C}$	$-40...70^\circ\text{C}$	$-40...55^\circ\text{C}$
Отклонение частоты в интервале рабочей температуры, не более	$\pm 5 \times 10^{-8}$	$\pm 2 \times 10^{-7}$	$\pm 2 \times 10^{-7}$
КНЧ (Allan variance) за 1 с	$< 5 \times 10^{-12}$	$< 5 \times 10^{-11}$	$< 5 \times 10^{-11}$
Выходное напряжение	500 мВ (50 Ом)	300 мВ (50 Ом)	КМОП
Время установления частоты с точностью $< 1 \times 10^{-7}$, не более	15 с (25°C) 40 с (-40°C)	15 с (25°C) 40 с (-40°C)	5 с (25°C) 15 с (-40°C)
Напряжение питания, В	5,0	5,0	5,0
Потребляемая мощность в режиме разогрева, Вт	0,8	0,8	0,5
Потребляемая мощность, Вт: стационарная в НУ при минимальной температуре	0,12 0,3	0,12 0,3	0,08 0,2
Габариты, мм	22,5 × 12,7 × 7		

недостатки, присущие производству КРТ в стеклянных корпусах: невозможность дальнейшей миниатюризации, недостаточную механическую прочность, сложную и трудоёмкую технологию изготовления, наличие стекловидного производства и др.

В результате проведённой в 2001–2002 гг. ОКР «Оникс» разработана конструкция кварцевого резонатора-термостата в низкопрофильном металлокерамическом корпусе НС-37. Компьютерное моделирование КРТ позволило найти оптимальные параметры элементов конструкции и параметры терморегулятора, обеспечивающие наилучшую температурную стабильность и минимальное время готовности. В результате КРТ имеет объём менее 1 см³, время готовности не более 15 с и потребляемую мощность менее 80 мВт.

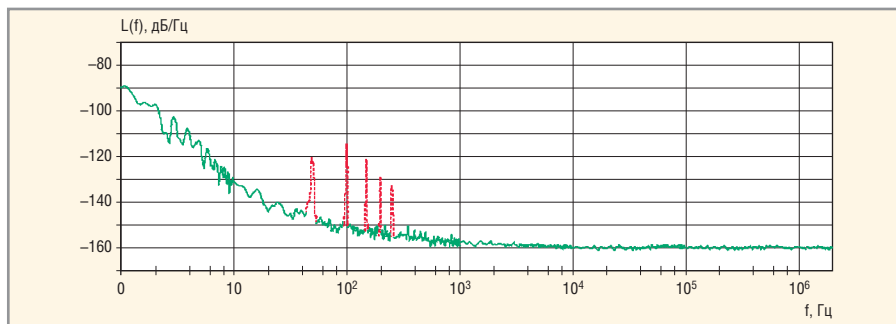
На основе этого КРТ разработана базовая конструкция кварцевого генератора. Унифицированный набор микроплат позволяет реализовать кварцевые генераторы с различными характеристиками и назначением, в том числе, в диапазоне частот 8...130 МГц, с напряжением питания 12 или 5 В.

Малые габариты и низкая потребляемая мощность КРТ в корпусе НС-37 позволили разработать компактный высокостабильный кварцевый генератор М32010 на частоту 100 МГц. Устройство содержит опорный генератор (ОГ) на частоту 10 МГц и малощумящий ГУН на частоту 100 МГц, синхронизируемый частотой ОГ с помощью системы ФАПЧ. Благодаря этому температурная и долговременная стабильность частоты определяется опорным генератором, а уровень фазовых шумов в дальней зоне – шумами ГУН.

ГЕНЕРАТОРЫ-ТЕРМОСТАТЫ В КОРПУСЕ DIP14

Анализ существующего уровня микроэлектроники позволяет реализовать электронную часть схемы опорного генератора и термостат с резонатором в объёме менее 200 мм³, а терморегулятор – в объёме 12 мм³. С учётом размещения указанных элементов в корпусе общий объём ОГ составит 1,5...2 см³ при высоте не более 6...7 мм. Потребление от источника питания не превысит 150 мВт.

Разработка генератора «Топаз», у которого все элементы объединены в одну интегральную конструкцию, помещённую в вакуумированный корпус, потребовала решения многочисленных проблем, таких как оптимизация



Типовая характеристика фазового шума генератора М32019

конструкции с учётом тепловых и термодинамических процессов, разработка электронных схем, обеспечивающих требуемые электрические параметры и имеющих малое потребление и объём, выбор конструкционных материалов и обеспечение высокого вакуума на протяжении всего срока службы [3].

На основе базовой конструкции разработаны три модели генераторов. Генераторы М32019 и М33007 на частоты 10 и 50 МГц имеют время готовности не более 15 с и потребляемую мощность в нормальных условиях не более 120 мВт. Благодаря жёсткой конструкции и малой массе входящих элементов генератор обладает повышенной устойчивостью к механическим воздействиям. Типовое значение G-чувствительности генератора М32019 составляет $2 \times 10^{-10}/g$.

В генераторе М34001 используется пьезоэлемент на частоту 10 МГц. Время готовности генератора составляет менее 5 с при температуре +25°C. Генератор потребляет 80 мВт при ком-

натной температуре и может успешно конкурировать с генераторами с цифровой термокомпенсацией, обеспечивая лучшие характеристики по старению и фазовым шумам.

Характеристики генераторов приведены в таблице; спектр фазовых шумов генератора М32019 показан на рисунке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров В.Г., Дикиджи А.Н., Куталев А.И., Бахтинов В.В. Конструирование и технология изготовления миниатюрных кварцевых генераторов для аппаратуры связи IV поколения. Техника средств связи, Серия ТРС. 1988. Вып. 6. С. 32–39.
2. Дикиджи А.Н., Куталев А.И., Тихомиров В.Г. Миниатюрные малощумящие кварцевые генераторы для цифровых станций спутниковой связи. Омский НИИ приборостроения. Техника радиосвязи. 1994. Вып. 1. С. 40–45.
3. Куталев А.И. Кварцевый резонатор-термостат с распределенным нагревателем. Омский НИИ приборостроения. Техника радиосвязи. 2007. Вып. 12. С. 78–87.

РОСТЕХНОЛОГИИ **ОРЭОН**
Омский радиоэлектронный завод

ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ОНИИП
ОМСКОЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
ДАЛЬНЯЯ РАДИОСВЯЗЬ, АППАРАТУРА И КОМПЛЕКСЫ

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ
Разработка и серийное производство кварцевых резонаторов-термостатов и опорных кварцевых генераторов на их основе.

Диапазон частот, МГц	8 - 200
Нестабильность частоты за год, не более	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$
Нестабильность частоты в интервале температур от - 50 °С до +70 °С	$\pm 1 \cdot 10^{-10}$
Уровень фазовых шумов при отстройке 10 кГц, дБс / Hz, не более	-170
Выходное напряжение на нагрузке 50 Ом, мВ	500
Время установления частоты с точностью $< 1 \cdot 10^{-7}$, с, не более	15
Напряжение питания, В	5 - 12
Мощность потребления в установившемся режиме, Вт	0,25

Россия, Омск, 644009, Масленникова 231 тел. (3812) 514901
факс. (3812) 514987 e-mail: info@oniip.ru http: //www.oniip.ru

Миниатюрные соединители для печатных плат фирмы Phoenix Contact

Александр Асон (Москва), Лукас Мут (Германия)

В статье представлены три новые серии разъёмов и клемм для печатных плат компании Phoenix Contact, ориентированные на широкий спектр применений в промышленной электронике. Особенность данных изделий заключается в уникально малых габаритах, возможности SMT-монтажа и удобстве подключения.

Электронные компоненты становятся всё более компактными, предлагая при этом всё больше функциональности разработчикам современной электроники. С 1960-х годов все электронные компоненты, такие как диоды, транзисторы и интегральные микросхемы, подверглись значительной миниатюризации. Поэтому электромеханические элементы на печатных платах также должны иметь меньшие габариты. При этом особенно важно сохранить баланс между функциональностью, технологичностью и габаритами.

В данной статье мы рассмотрим, как это достигается в миниатюрных разъёмах с шагом между контактами менее 2,5 мм, а также обсудим проблемы, стоящие перед производителями соединителей, и представим две новые серии малогабаритных соединителей производства Phoenix Contact.

Для оценки удобства использования разъёмов необходимо выделить основные этапы монтажа и подключения проводников в процессе работы:

- определение типа подключения;
- подготовка провода и его установка в корпус разъёма;
- фиксация провода в разъёме/клемме.

Соединитель должен быть разработан с учётом того, чтобы перечисленные этапы выполнялись быстро, эффективно и безопасно.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ПОДКЛЮЧЕНИЯ

При сборке оборудования опытные монтажники РЭА выполняют эту задачу более или менее интуитивно. Конструктивные особенности разъёмов позволяют визуально определить тип подключения. Как

правило, делается различие между пружинным зажимом, прокалывающим контактом (IDC) или винтовым типом соединения. Надёжность соединения с помощью винтового зажима можно легко оценить визуально.

В отличие от винтового соединения, в клеммах, имеющих пружинный зажим, визуальная идентификация надёжно подключённого провода достигается благодаря специальным рычажкам-актуаторам либо с помощью исполнительных прорезей, в которые, например, может быть вставлена отвёртка для извлечения провода.

Эффективная реализация этих принципов при разработке соединителей значительно упрощает работу монтажников РЭА. Например, оранжевый цвет стал стандартом по всему миру для рычажков-актуаторов на пружинных клеммах.

ПОДГОТОВКА ПРОВОДА И МОНТАЖ

Провода подготавливаются для подключения в зависимости от используемой технологии соединения. Провод может быть предварительно зачищен, а затем опрессован наконечником либо обрезан на необходимую длину без зачистки. В винтовых клеммах, например, подготовленный провод позиционируется за счёт конструктивных особенностей при установке его до упора. В соединителях, использующих технологию прокалывающего контакта, незачищенный провод позиционируется с помощью направляющих пазов или специальных направляющих механизмов. Важным аспектом здесь является то, что надёжный контакт может быть обеспечен только при правильной установке провода.

В зависимости от типа соединения, пользователи могут осуществлять монтаж одной или двумя руками. Например, подключение проводов к разъёмам, имеющим пружинные зажимы типа push-in, может производиться одной рукой. Для этого необходимо всего лишь ввести провод в разъём до упора. В разъёмах с винтовым зажимом или классическим пружинным зажимом установка провода осуществляется двумя руками: одной рукой удерживается провод, второй рукой открывается и закрывается зажим. В зависимости от конструкции зажимного механизма, монтаж провода может осуществляться без инструментов или при помощи отвёртки.

Другой конструктивной особенностью является тактильная обратная связь при подключении провода. Например, можно почувствовать усилие пружины в процессе установки провода или защёлки, когда провод установлен полностью. Эти механизмы обратной связи позволяют монтажникам определить, что провода надёжно закреплены.

КОНСТРУКЦИИ ЗАЖИМНОГО МЕХАНИЗМА В СВЕРХМИНИАТЮРНЫХ СОЕДИНИТЕЛЯХ

В разъёмах с шагом между контактами 2,5 мм и менее преобладают два типа зажимного механизма – пружинный зажим и прокалывающий контакт. Очевидно, что реализация винтового зажима в таких соединителях затруднительна.

В соответствии со стандартом DIN 47726, максимальный диаметр провода с номинальным сечением 0,5 мм² (включая изоляцию) не должен превышать 2,6 мм. Поэтому для разъёмов с шагом 2,5 мм достаточно сложно расположить боковые элементы активации пружинного зажима или направляющие прорези. Для этого в конструкции соединителя должны быть предусмотрены элементы, которые не увеличивают ширину контакта.

Насколько компактной может быть технология соединения, оставаясь при этом пригодной к использованию? Например, в разъёмах с шагом 2,5 мм больше не предусмотрен рычажок для активации пружинного зажима при извлечении провода (см. рис. 1). Исполнительные элементы лежат так близко друг к другу, что извлечение отдельных проводов из разъёма может осуществляться только при помощи отвёртки.

СООТВЕТСТВИЕ SMT-ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА

Разработчики электроники и производители радиоэлектронной аппаратуры всё больше заинтересованы в соединителях, которые совместимы с технологией поверхностного монтажа (SMT) и могут использоваться вместе с другими SMD-компонентами, такими как микросхемы, резисторы, катушки индуктивности и светодиоды (см. рис. 2). При монтаже SMD-компонентов на автоматизированных линиях компоненты автоматически перемещаются с ленты носителя на печатную плату, затем паяются в печи, и после этого проверяется качество пайки. Требования к разъёмам, предназначенным для SMT-пайки, основываются на тех же принципах.

Чтобы вакуумный манипулятор SMT-автомата мог правильно захватить компонент с ленты, его поверхность должна быть достаточно большой и гладкой. Для этого разъёмы снабжаются дополнительным съёмным элементом (площадкой для переноса вакуумным манипулятором). Далее в процессе пайки температура достигает 260°C, поэтому большое значение имеет материал, из которого сделан соединитель. Такие разъёмы изготавливаются в строгом соответствии со стандартом IPC/JEDEC J-STD-020D.

Помимо этого, так же как и для всех SMD-компонентов, существуют дополнительные требования к паяемой поверхности контактов. Большинство спецификаций предусматривают компланарность выводов компонентов на уровне 100...200 мкм, благодаря чему достигается надёжное соединение с печатной платой при пайке. Для разъёмов и клемм для печатных плат, об-

суждаемых здесь, паяное соединение является особенно важным, поскольку соединители наиболее подвержены механическим нагрузкам.

PTSM и RTPM – два СВЕРХМИНИАТЮРНЫХ РАЗЪЁМА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Миниатюризация, технологичность и удобство работы в настоящее время являются основными факторами, определяющими соответствие разъёмов и клемм для печатных плат современным приложениям. Чтобы не отставать от тенденции миниатюризации, новые разъёмы для печатных плат должны иметь минимально возможные габариты, а также подходить для монтажа на автоматизированных линиях.

При разработке двух новых миниатюрных серий разъёмов главной задачей было уменьшение внешних габаритов и возможность SMT-монтажа.

Новые миниатюрные разъёмы PTSM и RTPM от Phoenix Contact отвечают обоим условиям. Разъёмы серии PTSM представляют собой миниатюрные соединители с пружинным зажимом. Этот вид соединения чрезвычайно компактен и позволяет быстро подключать как жёсткие одножильные, так и гибкие многожильные провода. Дополнительно были уменьшены габариты за счёт отказа от использования кнопки-актуатора без потери функциональности. Для извлечения провода из разъёма достаточно просто ввести отвёртку в исполнительную прорезь (см. рис. 3); подходит обычная отвёртка с шириной шлица 2,0 мм.

Новые технологии были разработаны и для второго типа миниатюрного разъёма – RTPM с прокалывающим контактом, подходящим только для гибких проводов. Режущие кромки прокалывающих контактов были сокращены до минимума. Эти миниатюрные разъёмы монтируются вручную, без применения специального инструмента. Навесные направляющие позволяют правильно расположить провода при монтаже. После введения провода в направляющие пазы монтажник должен просто прижать пальцем крышечку, при этом прокалывающий кон-



Рис. 1. Миниатюрные клеммы для печатных плат серии PTSM с шагом между контактами 2,5 мм – самые маленькие пружинные клеммы компании Phoenix Contact

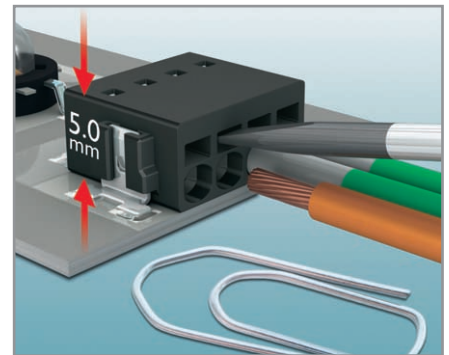


Рис. 2. Простое подключение проводов к печатной плате

SMD-компоненты и разъёмы паяются одновременно, тем самым исчезает необходимость в дополнительных технологических операциях

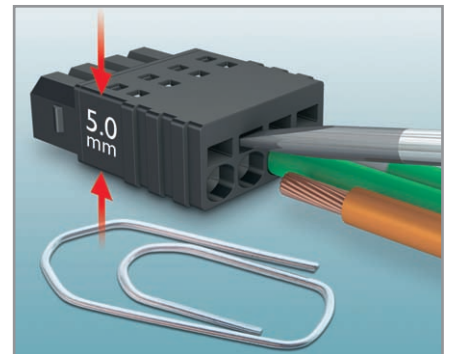


Рис. 3. Несмотря на небольшие размеры, разъёмы серии PTSM с пружинными зажимами очень просты и удобны в использовании

Жёсткие провода предварительно зачищаются, а затем вставляются непосредственно в разъём. Извлечение провода осуществляется с помощью отвёртки

такт обеспечит надёжное соединение (см. рис. 4).

КОМПАКТНЫЕ КЛЕММЫ PTQ С ТЕХНОЛОГИЕЙ СОЕДИНЕНИЯ QUICKON IDC

Еще одна новая серия клемм компании Phoenix Contact, ориентиро-

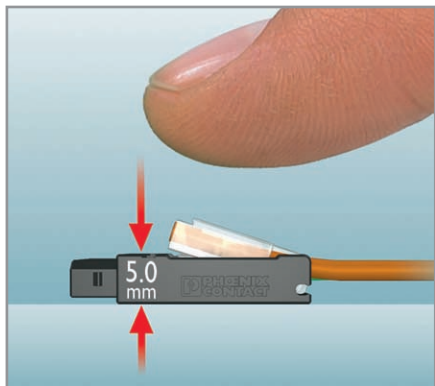


Рис. 4. Сборка разъемов серии RTPM с прокалывающим контактом не требует дополнительного инструмента

Провод вставляется в направляющие прижимной крышки, затем крышка защёлкивается пальцем. Предварительная зачистка провода не требуется

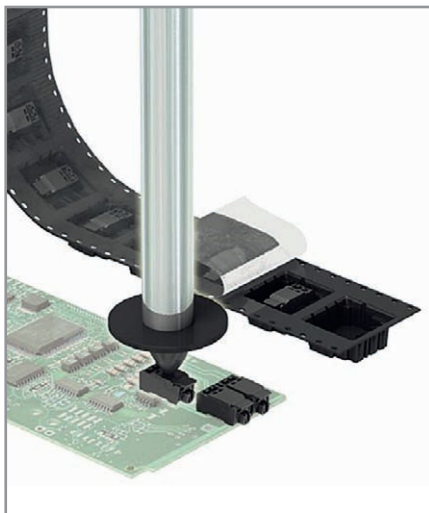


Рис. 5. Клеммы RTQ предназначены для автоматизированного монтажа на SMT-линиях

ладают рядом уникальных технических характеристик. Одной из особенностей этих клемм является возможность быстрого подключения провода (сечением 0,14...0,34 мм²) без предварительной зачистки. Процедура подключения провода проста и интуитивно понятна. Для этого необходимо:

- открыть прижимную крышку (рис. 6),
- ввести провод в направляющие на прижимной крышке (рис. 7),
- удостовериться через контрольные окна, что провод введён до конца (рис. 8),
- защёлкнуть крышку, надавив на неё пальцем (рис. 9).

Надёжный газонепроницаемый контакт обеспечивается благодаря IDC-контактам (технология QUICKON IDC).

Новые клеммы серии RTQ позволяют производителям электроники значительно сократить время, требуемое на сборку готового устройства. За счёт возможности монтажа на SMT-линиях ускоряется процесс пайки. А возможность подключения провода без предварительной зачистки и без специального инструмента сокращает затраты на следующих сборочных этапах. Для большего удобства подключения на верхнюю крышку клеммы может быть нанесена цветовая маркировка в соответствии с цветом подключаемых проводов.

Что немаловажно, новые клеммы RTQ имеют высоту всего 8 мм и могут использоваться в оборудовании, где габариты компонентов должны быть минимальными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разъемы нового поколения демонстрируют, что основные соединительные элементы могут быть уменьшены ещё больше. Данные соединители при шаге между контактами 2,5 мм не превышают 5 мм в высоту (и 8 мм для клемм RTQ), что позволяет разработчикам аппаратуры экономить ценное пространство.

Технические параметры разъемов RTPM/ PTSM и клемм RTQ позволяют использовать их в приложениях, где важны надёжность, гарантированные электрические параметры (ток 6 А при 160 В через каждый вывод) и минимальные габариты.



Рис. 6. Для открытия клеммы надавите на боковые «лепестки» прижимной крышки

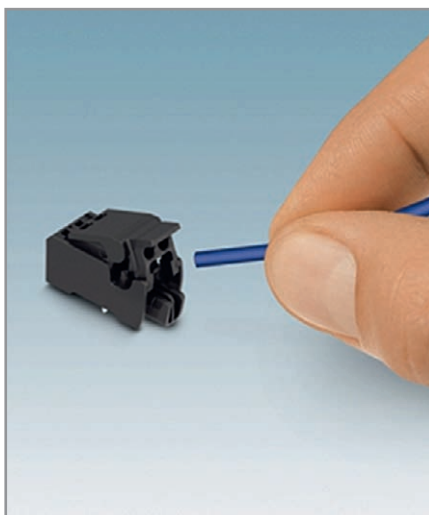


Рис. 7. Вставьте провода в направляющие прижимной крышки

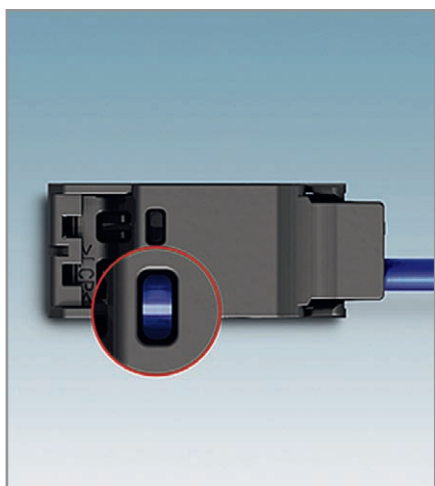


Рис. 8. Проверьте надёжность подключения через контрольные окна

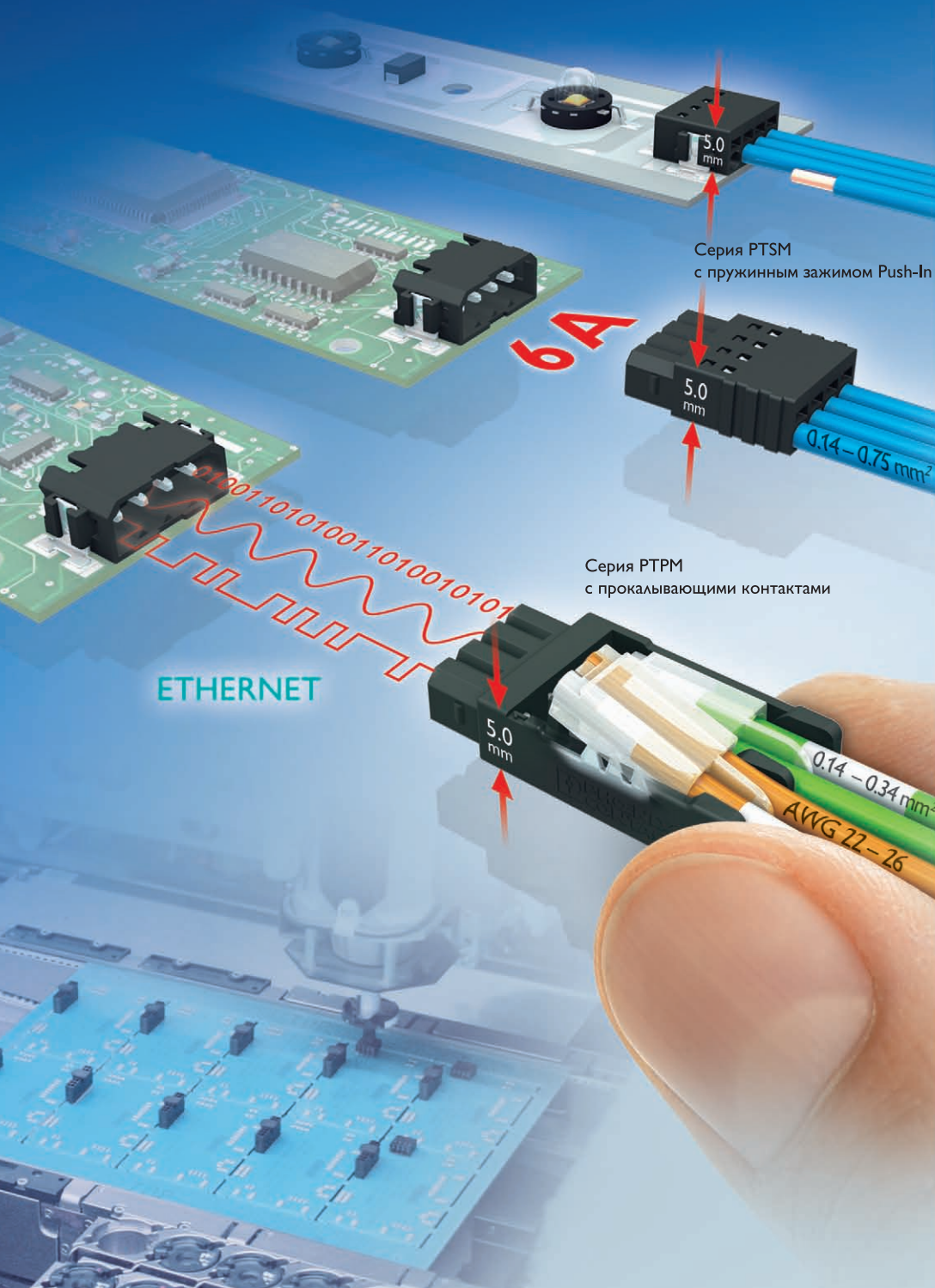


Рис. 9. Надавите на прижимную крышку пальцем. Соединение готово

ванная на применение в современном телекоммуникационном оборудовании и в различных портативных устройствах, – это клеммы RTQ с IDC-контактами. Новые клеммы RTQ так-

же как и разъемы RTPM/PTSM имеют шаг между контактами 2,5 мм, предназначены для монтажа на автоматизированных линиях (поставляются в ленте на катушке – рис. 5) и об-

Размер имеет значение!



Вставьте провод

Обрежьте его заподлицо

Закройте корпус – и готово!

Серия PTSM
с пружинным зажимом Push-In

Серия RTPM
с прокалывающими контактами

Сверхминиатюрные разъемы с системой быстрого монтажа

Тенденция к миниатюризации и новые области применения в электронике требуют инновационных, более соответствующих современным требованиям соединительных решений. Новые разъемы и клеммы серий PTSM и RTPM с числом полюсов от 2 до 10 позволяют уменьшить размер разрабатываемых устройств и ускорить процесс соединения. При шаге выводов 2,5 мм все разъемы имеет высоту всего 5 мм. Встроенные пружинные зажимы или прокалывающие контакты позволяют быстро и удобно подсоединять даже неподготовленные проводники сечением до 0,75 мм².

ООО «Феникс Контакт РУС»
119619 Москва,
Проектируемый проезд 5167, д. 9, стр. 1
Тел.: +7 (495) 933-8548
Факс: +7 (495) 931-9722
info@phoenixcontact.ru
www.phoenixcontact.ru

Магнитометры на эффекте Холла

Игорь Буслов, Валерий Бауткин, Александр Драпезо, Николай Слободжанюк, Андрей Лукьянов, Вячеслав Ярмолович (г. Минск, Беларусь)

В статье описаны принципы функционирования и приведены технические характеристики магнитометров МПЧ-01 и МИН-01, включающих трёхкоординатные первичные преобразователи магнитного поля на эффекте Холла.

Современная среда существования человека насыщена техногенными электромагнитными полями (ЭМП) широкого спектрального диапазона (это без специально генерируемых ЭМП). Эти поля появились в окружающей среде как побочный продукт электрической энергии, повсеместно используемой в промышленности и быту. Как установлено многими исследователями, люди расплачиваются своим здоровьем за комфорт и удобства, которые создаются с помощью этого вида энергии. У животных и людей, длительно находившихся в ЭМП, напряжённость которых превышала напря-

жённость природных ЭМП, увеличилась агрессивность, ухудшилось состояние иммунной системы, возросла частота возникновения злокачественных опухолей, выявлены признаки ускоренного старения и т.д. Как следствие, были разработаны и введены СанПиНы и другие нормативные документы, ограничивающие пребывание людей в зонах воздействия ЭМП.

Следует отметить, что в XX в. напряжённость ЭМП в окружающей среде нарастала постепенно, и люди привыкли не обращать на это внимания. Значительная часть информации о влиянии ЭМП на биосистемы различного уровня была предназначена только для служебного пользования. Здесь в первую очередь имеется в виду разработка новых видов оружия на основе воздействия электромагнитного излучения на человека. ЭМП сверхдлинного диапазона частот 0,001...100 Гц могут применяться для воздействий на мозг человека и сердце. Электромагнитные волны в диапазоне 100...1000 Гц могут применяться для воздействия на мышечные ткани. Известны разработки оружия, функционирующего в СВЧ-диапазоне. В США первыми стали использовать экранированные комнаты для переговоров. Экранированные комнаты в служебных зданиях и личных домах – это сегодняшняя реальность в США. Около 5% дохода фирм в США тратится на эти цели.

Так негативное влияние постоянного магнитного поля на человека сказывается не только при превышении напряжённости магнитного поля над естественной для данной местности, но и при его ослаблении, например, вследствие экранирующего воздействия ферромагнитных конструкций зданий.

Методы учёта магнитного поля Земли и средства измерения таких магнит-

ных полей, называемых гипогомагнитными, приведены в ГОСТ Р 51724-2001 «Экранированные объекты, помещения, технические средства, поле гипогомагнитное, методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам» (приложение Б). Поэтому задача анализа магнитного фона в помещении остаётся актуальной.

В Российской Федерации в настоящее время разработаны и серийно выпускаются приборы для контроля уровней электромагнитных полей и метрологического обеспечения этих средств измерений. К ним относятся: измеритель напряжённости магнитного поля промышленной частоты ПЗ-50Б, измеритель магнитной индукции промышленной частоты ИМП-50 (изготовитель ВНИИОФИ, г. Москва), миллитеслометр портативный ТП2-2У (выпускается по ТУ 4222-001-42294748-97 в п/о Менделеево МЦРМИ ГП «ВНИИФТРИ»). В реестре РФ средств измерений и контроля уровней электромагнитных полей присутствует более 30 наименований приборов, выпускаемых в России.

Приборы электромагнитного мониторинга, выпускаемые фирмами дальнего зарубежья, в несколько раз дороже, чем российские, и соответствуют требованиям и нормативной документации этих стран. Например, в Германии выпускается анализатор переменного магнитного поля EFA-1 (фирма Wandel & Goltermann), в Японии – измеритель магнитных полей 3470 (фирма Hioki).

Следует отметить, что в Республике Беларусь и в России действуют близкие Санитарные нормы и правила, ГОСТы и другие нормативные документы. Однако выполнение законодательства в этой области затруднено из-за высокой стоимости средств электромагнитного мониторинга зарубежных производителей, а также проблем, связанных с метрологическим обеспечением и ремонтом этих средств измерений. Поэтому целесообразным и логичным решением является разработка и организация про-

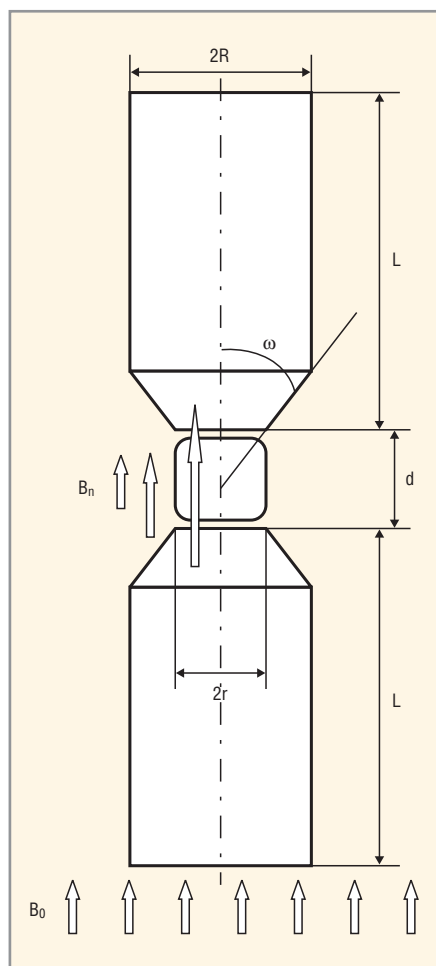


Рис. 1. Особенности конструкции прибора МПЧ-01

мышленного выпуска отечественных магнитометров и обеспечение их средствами метрологической аттестации и соответствующей ремонтной базой.

Рассмотрим особенности конструкции и основные технические характеристики прибора МПЧ-01 [1]. Он имеет измерительный блок и два выносных трёхкоординатных первичных преобразователя магнитного поля (МП) на основе трёх элементов Холла, расположенных в ортогональных плоскостях [2]. Трёхкоординатные первичные преобразователи МП закреплены на соответствующих штангах с рукоятками и имеют разную чувствительность к магнитному полю. Высокочувствительный первичный преобразователь МП отличается от первич-

ного преобразователя МП тем, что три элемента Холла вставлены в узкие зазоры ферромагнитных концентраторов магнитного потока (см. рис. 1).

Используя явление концентрации магнитного потока магнитомягкими ферромагнитными телами определённых геометрических форм, можно на два-три порядка увеличить магнитную чувствительность без ухудшения шумовых характеристик и временной стабильности [3]. Анализ полученных расчётных данных [4] указывает, что оптимальным является диапазон угла ω , равный $17,5...22,5^\circ$, что соответствует величине угла при вершине конуса $2\omega = 35...45^\circ$.

Прибор изготавливается в виде базовой модели МПЧ-01, предназначен-

ной для измерения напряжённости постоянного магнитного поля (МП) в диапазоне $0,01...100$ мТл и переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне $0,01...10,0$ мТл. Основные технические характеристики МПЧ-01 приведены в таблице 1. Прибор питается от четырёх элементов типоразмера ААА (аккумуляторов с номинальным напряжением 1,2 В или щелочных батарей с номинальным напряжением 1,5 В).

При измерении индукции магнитного поля, модуль которой превышает верхний предел диапазона измерений, вместо текущего показания на индикаторном табло прибора отображаются цифры 999. По истечении 5 мин после прекращения работы (по-



**Комплексные поставки электронных компонентов
СПЕЦИАЛЬНОГО, ДВОЙНОГО И ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Закрытое Акционерное Общество «Фаворит – Электронная Компания»
Web: www.favorit-ec.ru ■ тел./факс: +7(495)627-76-24

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Республике Беларусь, г. Минск
Тел.: +375 (17) 207 01 85
info@favorit-ec.ru

Представительство ЗАО «Фаворит ЭК»
в Санкт-Петербурге ООО «Невская Электронная Компания»
Тел.: +7 (812) 449 52 40
www.spbnek.ru • nek@spbnek.ru

Представительство ЗАО «Фаворит – ЭК»
в Нижнем Новгороде
Тел.: +7 (910) 886 80 60
alexandra@favorit-ec.ru

Таблица 1. Технические характеристики прибора МИН-01

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	-10...40
Допустимая относительная влажность окружающей среды, не более, %	95
Допустимый диапазон атмосферного давления, кПа	84,0...106,7
Требования к внешним воздействующим факторам	Не допускается выпадение росы, инея, атмосферных осадков, попадание прямого солнечного излучения
Диапазон измеряемой напряжённости постоянного магнитного поля, мТл: – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...99,9
Диапазон измеряемой напряжённости переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц, мТл – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...9,9
Пределы допускаемой погрешности: – при измерении напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне 0,01...100 мТл – при измерении напряжённости переменного магнитного поля частотой от 50 ± 2 Гц в диапазоне 0,01...10,0 мТл	±10% ±10%
Время одного измерения, не более, с	1,0
Время непрерывной работы, не менее, ч	8,0
Время установления рабочего режима, не более, с	60
Ток потребления, не более, мА	90,0
Рабочий диапазон напряжения питания, В	4,3...6,5
Габариты: – электронного блока, не более, мм – первичного высокочувствительного преобразователя магнитного поля, не более, мм – первичного преобразователя магнитного поля, не более, мм	150 × 80 × 32 Ø 59 × 400 Ø 33 × 410
Масса прибора без элементов питания, не более, кг	0,45

Таблица 2. Технические характеристики прибора МПЧ-01

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	-10...40
Допустимая относительная влажность окружающей среды, не более, %	95
Допустимый диапазон атмосферного давления, кПа	84,0...106,7
Требования к внешним воздействующим факторам	Не допускается выпадение росы, инея, атмосферных осадков, попадание прямого солнечного излучения
Диапазон измеряемой напряжённости постоянного магнитного поля, мТл: – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...99,9
Диапазон измеряемой напряжённости переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц, мТл – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...9,9
Диапазон измеряемой напряжённости импульсных магнитных полей 50 ± 2 Гц, мТл	1,5...12,5
Пределы допускаемой погрешности: – при измерении напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне 0,01...100 мТл – при измерении напряжённости переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 0,01...10,0 мТл – при измерении напряжённости импульсного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 1,5...12,5 мТл	±5% ±5% ±5%
Время одного измерения, не более, с	1,0
Время непрерывной работы, не менее, ч	8,0
Время установления рабочего режима, не более, с	60
Ток потребления, не более, мА	200,0
Рабочий диапазон напряжения питания, В	4,3...6,5
Габариты: – электронного блока, не более, мм – первичного высокочувствительного преобразователя магнитного поля, не более, мм – первичного преобразователя магнитного поля, не более, мм	304 × 180 × 55 Ø59 × 400 Ø33 × 410
Масса прибора без элементов питания, не более, кг	0,45
Среднее время наработки на отказ T_0 , не менее, ч	5000
Средний срок службы, не менее, лет	10
Среднее время восстановления $T_в$, не более, ч	4,0

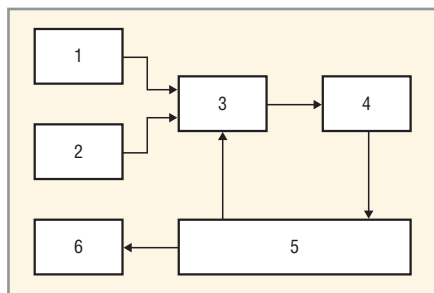


Рис. 2. Блок-схема прибора МПЧ-01

казания на индикаторном табло не изменяются) прибор выключается автоматически. Имеется возможность подключения к ПЭВМ по интерфейсу USB.

Для измерения компонентов (составляющих B_x , B_y и B_z) индукции постоянных и переменных магнитных полей используются три взаимно ортогональных элемента Холла, каждый из которых измеряет только одну из них. Затем встроенный в прибор микропроцессор вычисляет модуль индукции по формуле:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}. \quad (1)$$

Устройство прибора (базовая модель МПЧ-01) иллюстрируется блок-схемой, изображённой на рисунке 2; фотография приведена на рисунке 3.

При помещении преобразователей в постоянное или переменное магнитное поле на выходе каждого из трёх элементов Холла 1 возникает сигнал, пропорциональный соответствующему компоненту индукции этого поля. Через блок ключей 3 сигнал поступает на усилитель 4, масштабирующий его до необходимой величины. Затем усиленный сигнал поступает на вход встроенного в микропроцессор 5 аналого-цифрового преобразователя и преобразуется в цифровой код. Полученный код микропроцессор пересчитывает в значение соответствующего компонента измеряемой индукции, а также вычисляет модуль индукции по формуле (1). На индикаторное табло 6 выводятся значения трёх компонентов и модуля магнитной индукции в мкТл или мТл.

Прибор МИН-01 [2] имеет измерительный блок и два выносных трёхкоординатных первичных преобразователя магнитного поля из магниточувствительных элементов Холла, также смонтированных на штангах в ортогональных плоскостях. В отличие от МПЧ-01, прибор МИН-01 обладает



Рис. 3. Прибор МПЧ-01

расширенными функциональными возможностями. К ним относятся: ведение журнала измерений и сохранение результатов в памяти прибора в виде массива, с возможностью передачи полученных данных на ЭВМ для последующей обработки; отображение на большом графическом дисплее не только модуля измеренной величины магнитного поля, но и его формы и длительности (для импульсных магнитных полей), что облегчает обнаружение источника магнитного поля и в дальнейшем позволяет его экранировать.

Основные технические характеристики прибора МИН-01 приведены в таблице 2. Прибор изготавливается в виде базовой модели МИН-01 (см. рис. 4), предназначенной для измерения напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне 0,01...100 мТл и переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 0,01...10,0 мТл и импульсного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 1,5...12,5 мТл. Степень защиты МИН-01 от проникновения воды, пыли, внешних твёрдых предметов соответствует IP20 (ГОСТ 14254).

Прибор фиксирует значение модуля напряжённости магнитного поля как функцию времени на экране дисплея. Прибор измеряет амплитудные значения напряжённости импульсных магнитных полей (50 Гц) с характеристиками следующих импульсных режимов генерации ($\tau_{И}$ – длительность импульса, $t_{П}$ – длительность паузы между импульсами):

- режим I, $\tau_{И} = 0,02$ с и более, $t_{П} = 2$ с и менее;
- режим II, $\tau_{И}$ от 1 до 60 с, $t_{П}$ более 2 с;
- режим III, $\tau_{И}$ от 0,02 до 1 с, $t_{П}$ более 2 с.

Прибор питается от четырёх элементов типоразмера AA (аккумуляторов с номинальным напряжением 1,2 В или щелочных батарей с номинальным напряжением 1,5 В). Структурная схема и принцип функционирования аналогичны прибору МПЧ-01.



Рис. 4. Фотография прибора МИН-01

Следует отметить, что для разработанных приборов МИН-01 и МПЧ-01 использовались миниатюрные элементы Холла, выпускаемые ГО «НПЦ НАНБ по материаловедению» (г. Минск) по технологии гетероэпитаксиальных структур антимонида индия на полупроводнике арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда n-типа [5]. Размер магниточувствительной области не превышает $50 \times 50 \times 6$ мкм, а самого элемента Холла – $0,5 \times 0,5$ мм. Магнитная чувствительность элементов Холла при управляющем токе 30 мА составляет не менее 250 мВ/Тл. Отличительной особенностью данных элементов Холла является высокая стабильность метрологических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дранезо А.П., Соколов С.Н., Тарасевич С.В., Ярмолович В.А. Приборы для мониторинга магнитного поля. Материалы Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2010». Минск, 2010.
2. Дранезо А.П., Соколов С.Н., Тарасевич С.В., Ярмолович В.А. Трёхкомпонентный измерительный преобразователь слабых магнитных полей для мониторинга экологической обстановки объектов. Материалы Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2008». Минск, 2008. С. 81–82.
3. Ярмолович В.А., Шилагарди Г., Прокошин В.И., Дранезо А.П., Цооху Х., Тимурбаев Д., Тувшинтур П. Основные концептуальные принципы проектирования сенсоров слабых магнитных полей на эффекте Холла. Физик № 309 (15) (Монголия). 2009.
4. Соколов С.Н., Тарасевич С.В., Дранезо А.П., Ярмолович В.А. Магнитометр. Патент РФ на полезную модель № 6454 от 17.09.2009, опубл. 30.08.2010, МПК G01R33/00.
5. Прокошин В.И., Дранезо А.П., Ярмолович В.А. Новые методы контроля с помощью прецизионных механоэлектрических микропреобразователей. Наука и инновации. 2008. № 11. С. 69–71.

Четырёхканальный осциллограф ScopeMeter® 190 серии II

Хенк Коппельманс (Нидерланды)

Двадцать лет назад осциллографы начали широко применяться не только в лабораторных, но и в полевых условиях. С тех пор переносные приборы стали легче, прочнее и удобнее в использовании в сложных рабочих условиях, например, на портале подъёмного крана или в производственных помещениях. Выпуск компанией Fluke оригинального осциллографа ScopeMeter® положил начало революции в области измерительных приборов и установил высокие стандарты для переносных промышленных осциллографов.

ЧЕТЫРЁХКАНАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ SCOPEMETER® 190 СЕРИИ II

Новые приборы Fluke ScopeMeter 190 серии II (рис. 1) подняли планку производительности на новую высоту. Они снабжены четырьмя полностью «плавающими» входными каналами и предназначены для диагностики электроприводов с регулируемой скоростью вращения, трёхфазного питания, систем гидравлического позиционирования, робототехнических систем и других сложных промышленных систем



Рис. 1. Четырёхканальный осциллограф Fluke ScopeMeter® 190 серии II



Рис. 2. Комплект поставки осциллографов ScopeMeter® 190 серии II

управления. Процесс ремонта таких установок стал значительно проще благодаря возможности одновременно просматривать входные и выходные сигналы, контуры обратной связи, а также регистрировать отражения и переходные процессы. Использование большего числа каналов (четыре вместо двух) позволило расширить область применения этих надёжных приборов даже в лабораторных условиях. Однако продемонстрировать все свои возможности осциллографы ScopeMeter нового поколения могут именно в полевых условиях.

Доступные в вариантах с полосой пропускания 100 или 200 МГц и оснащённые оригинальным интерфейсом, новые четырёхканальные осциллографы ScopeMeter – это первые приборы, соответствующие стандарту IP 51 по защите от пыли и влаги. Это значит, что их можно с уверенностью использовать в тяжёлых промышленных условиях с высоким уровнем загрязнения. Это также первые приборы в своём классе, имеющие категорию безопасности 1000 В CAT III и 600 В CAT IV. Безопасность пользователя является основной задачей компании Fluke, так как промышленное оборудование и силовая электроника главным образом устанавливаются в условиях категории III и IV. Поэтому вопрос обеспечения соответствия осциллографа и его щупов (рис. 2) стандартам безопасности IEC 61010 был определён с самого начала.

ИННОВАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ПИТАНИЕМ

Так как же компании Fluke удалось удвоить возможности ScopeMeter, не увеличив при этом его размер, вес или потребляемую мощность? В отличие

от настольных осциллографов для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в которых полоса пропускания и объём памяти являются основными факторами производительности, для промышленных переносных осциллографов требуются инновационные технологии эффективного управления питанием. Это необходимо, потому что в пыле- и влаго- непроницаемом корпусе ScopeMeter невозможно установить вентиляторы и охлаждающие решетки, а каждый ватт энергии, обеспечиваемый батареей, необходим для продления времени работы от одной зарядки. Компания Fluke решила проблему ограничения потребляемой мощности за счёт использования большой специализированной интегральной схемы.

Ещё одним усовершенствованием приборов стала крышка батарейного отсека, упрощающая замену батареи. В оригинальном ScopeMeter 190 эта крышка не использовалась с целью повышения защиты от проникновения пыли и влаги, однако в моделях 190 серии II она появилась в ответ на просьбы пользователей упростить процесс замены батареи в полевых условиях. Литий-ионная батарея ёмкостью 4800 мАч обеспечивает работу ScopeMeter в течение одной смены (до 7 ч) без необходимости зарядки, однако бывают ситуации, когда приходится работать дольше, чтобы отремонтировать и снова запустить линию. Для таких случаев предусмотрена возможность использования запасной батареи.

ДЛЯ ЧЕГО НЕОБХОДИМО ИЗОЛИРОВАТЬ ВХОДНЫЕ КАНАЛЫ?

Для промышленных осциллографов, которые используются для анализа высоких напряжений (рис. 3), необходимо наличие «плавающих» входных каналов, изолированных друг от друга. Это необходимо как для защиты пользователя, проверяемого оборудования, так и самого прибора.

В отличие от моделей 190 серии II, на настольных осциллографах используются общие входные заземляющие разъёмы, замкнутые на землю сети пи-

тания, что может приводить к возникновению потенциально опасных ситуаций при одновременной работе с сигналами высокого и низкого напряжения. Изолирование каналов также необходимо для получения точного анализа плавающего напряжения в большинстве областей промышленности. Использование в ScopeMeter элементов оптической и гальванической развязки (для высоко- и низкочастотных сигналов соответственно) позволяет получить полностью «плавающие» входы, которые обеспечивают получение истинных показаний плавающего напряжения, а также защиту пользователя без необходимости применения дополнительных щупов дифференциального напряжения.

ИНТЕРФЕЙС, СОЗДАННЫЙ ПО ПОЖЕЛАНИЯМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Отзывы пользователей помогли компании Fluke усовершенствовать новые модели ещё в нескольких направлениях. Типичные пользователи ScopeMeter – это не простые пользователи настольных осциллографов, поэтому такие функции, как автоматическая настрой-

ка запуска развёртки, крайне важны. Пользовательский интерфейс оригинальной 190-й серии разрабатывался при взаимодействии с пользователями, поэтому модели 190 серии II не только унаследовали проверенный и знакомый формат, но и получили незначительные улучшения, например, подсветку клавиш и более яркий дисплей. Среди других небольших, но ценных доработок можно выделить резьбовую вставку под стандартный штатив, расширяющую возможности установки, и улучшенное крепление для наручного ремешка. Это также единственный переносной инструмент с замком безопасности Kensington, используемым на ноутбуках, который позволит предотвратить кражу осциллографа, когда он находится без надзора во время измерения в течение длительных промежутков времени.

Помимо улучшений в аппаратной части, также были усовершенствованы и программные функции, которые призваны упростить процесс ремонта промышленного оборудования. Например, функция воспроизведения 100 экранов позволяет пользователю вернуться в прошлое и просмотреть быстрые переходные процессы или другие



Рис. 3. Работа с осциллографом в высоковольтных цепях

аномалии сигнала, которые можно легко пропустить. Прибор также оснащён и стандартными функциями, такими как Connect & View™ для мгновенного запуска развёртки, ScopeRecord™ для проведения продолжительных по времени анализов и TrendPlot™ для построения графиков данных (рис. 4). Кроме того, изменился способ подключения осциллографа ScopeMeter к ПК или ноутбуку. Поскольку USB является де-факто стандартным интерфейсом передачи данных, модели 190 серии II оснащены портом mini-USB и стандартным портом USB для подключения

Четырехкратная МОЩЬ ДИАГНОСТИКИ

Новая серия осциллографов-мультиметров Fluke 190 Series II ScopeMeter®: первые четырехканальные осциллографы для работы в условиях CAT IV

- Четыре независимых изолированных входных канала для тестирования трехфазной силовой электроники или тестирования промышленных систем автоматизации по трем осям.
- Рейтинг безопасности CAT III 1000 В/CAT IV 600 В
- Высокая скорость сбора данных и большой объем памяти позволяет вам видеть больше и регистрировать больше
- Литий-ионные аккумуляторы, обеспечивающие до 7 часов непрерывной работы входят в стандартный комплект. Крышка батарейного отсека обеспечивает простой доступ к аккумулятору.
- Изолированные порты USB для подключения устройств памяти и подключения к компьютеру.

Узнайте больше на www.fluke.ru/4ch

© 2011 Корпорация Fluke. Характеристики могут быть изменены без уведомления. Код рекламных материалов 3832868A

FLUKE®

Fluke. Мы приводим ваш мир в движение.®

Реклама

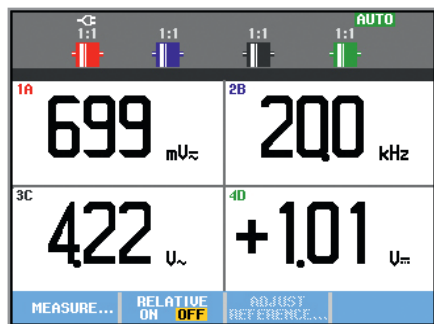


Рис. 4. Дисплей прибора в многоканальном режиме

запоминающих устройств. Это позволяет загружать осциллограммы, снимки экрана и настройки прибора с помощью программного обеспечения FlukeView и делает процесс хранения и передачи данных более удобным. Порты USB также изолированы для обеспечения защиты пользователя и компьютера от потенциально опасных высоких входных напряжений, которые могут поступать на прибор.

Безопасность и готовность к решению задач современного промышленного управления

Такие факторы, как возросшая степень использования инверторных преобразователей при разработке возобновляемых источников энергии (солнечной и ветровой), а также электроприводов с регулируемой скоростью для сокращения энергопотребления во многих областях промышленности сделали наличие четырёх каналов в промышленных осциллографах обязательным требованием. Аналогичным образом широкое использование компонентов автоматических систем, таких как контроллеры ПЛК, датчики и устройства ввода/вывода, в основных областях промышленности расширяет границы профессиональной сферы специалистов по ремонту оборудования. Осциллографы Fluke ScopeMeter 190 серии II отвечают возрастающим потребностям в безопасных приборах для применения в этих и других областях промышленности.

Развитие серии

Осциллограф ScopeMeter 90-й серии, выпущенный компанией Fluke в 1991 г., положил начало новой категории переносных осциллографов и определил новые стандарты в анализе осциллограмм в полевых условиях. До выпуска этого надёжного прибора с питанием от батарей переносные ос-

циллографы всё ещё были тесно связаны со своими настольными аналогами. Они работали от сети, имели большой вес и не справлялись с тяжёлыми условиями эксплуатации в промышленности. Впервые идея создания осциллографа повышенной прочности возникла во время работы над установкой измерительного оборудования на нефтебуровой платформе в Северном море, где требовался осциллограф. В условиях короткого временного промежутка для выполнения работы, поскольку каждый час простоя буровой платформы стоит несколько сотен тысяч долларов, полагаться на уязвимый настольный прибор было неоправданным риском.

Поэтому в 80-х годах компании Fluke и Philips направили свои совместные усилия на разработку переносного осциллографа, в то время как использование плоского маломощного ЖК-дисплея сделало его целесообразным с коммерческой и технической стороны. При его разработке во внимание принималось гораздо больше факторов, чем при создании обычных настольных осциллографов для научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, поскольку промышленность диктует совершенно другие условия. Часто в полевых условиях и при отсутствии сети электропитания, специалистам по ремонту оборудования приходится в сжатые сроки восстанавливать работоспособность установки и снова запускать её в работу. Здесь почти нет времени на установку диапазонов частот и запуск развёртки. Значит, для того, чтобы осциллограф ScopeMeter имел успех, ему крайне необходим простой и практичный пользовательский интерфейс. Немаловажной была возможность автоматической настройки запуска развёртки, особенно при измерении низкочастотных сигналов, что привело к созданию функции Connect and View™. Кнопки также должны были быть удобными для работы в перчатках, и, конечно же, прибор должен был работать достаточное количество времени без зарядки батареи.

В 1997 г. оригинальная модель 90-й серии была дополнена компактной моделью 120-й серии, а двумя годами позже её заменила двухканальная модель 190-й серии. В 2001 г. модель получила цветной дисплей, а в 2010 г. новый четырёхканальный осциллограф Fluke ScopeMeter 190 серии II снова поднял планку стандарта производительности.

Разработка переносного осциллографа с одной микросхемой

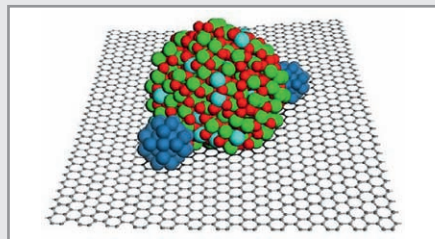
Переход от двухканальных приборов к четырёхканальным ставит интересную задачу перед конструктором. Для четырёхканальных приборов требуется четыре аналого-цифровых преобразователя (АЦП), которые будут потреблять больше энергии, чем два преобразователя, при этом потребляемая мощность переносного осциллографа ограничивается приблизительно 7 Вт. Интересно, что это ограничение не является следствием необходимости в продолжительном сроке службы батареи (хотя это тоже нужно учитывать), а возникает в результате необходимости защитить корпус от проникновения пыли и влаги при использовании в промышленной среде. Это требование делает невозможным использование охлаждающих решёток и вентиляторов.

Чтобы решить поставленную задачу, компания Fluke обратилась к специализированным интегральным схемам (ASIC). Чем больше функций выполняет одна микросхема, тем более энергоэффективным будет прибор. Применение ASIC даёт ряд преимуществ. В их числе – более надёжное осуществление измерений за счёт исключения возможного ухудшения сигнала между функциональными блоками и снижения количества механических контактов. Оба этих фактора могут стать причиной неисправности в результате удара или вибрации. Сокращение количества компонентов также делает производство более надёжным и способствует уменьшению внешних размеров готового устройства. Хотя осциллограф ScopeMeter 190 серии II ещё не является настоящим моносхемным прибором, он имеет уникальную схему ASIC, в которой объединены преобразователи АЦП четырёх плавающих каналов, а также четыре мультиметра, цифровая память и большая часть схемы обработки. С точки зрения уровня интеграции, прибор имеет, пожалуй, одну из 10 наиболее сложных конструкций, произведённых в этом году во всем мире. Без использования схемы ASIC было бы очень сложно разработать четырёхканальный осциллограф ScopeMeter, который бы отвечал ограничению по потребляемой мощности 7 Вт, соответствовал стандарту IP 51 и обеспечивал уровень производительности, необходимый пользователям в промышленных условиях.



Графен и ИТО могут сделать топливные ячейки дешевле и надёжнее

Похоже, графен видится учёным своеобразным «философским камнем» – к чему бы его ни применяли, всегда должно получиться золото. Ну, или эликсир вечной молодости, на худой конец... Действительно ли графен такой замечательный и универсальный материал – покажет только время и дальнейшие разработки. Одна из последних – попытка использовать графен в топливных ячейках для улучшения их прочности и снижения стоимости.



Центром ячейки является химический катализатор, в качестве которого часто используется платина. Катализатор наносят на поддерживающую подложку из углерода. Хорошая поддерживающая подложка позволяет платине равномерно расположиться по поверхности, что увеличивает площадь поверхности взаимодействия катализатора с участвующими в реакции газами. Кроме того, подложка должна обладать хорошими электропроводящими свойствами.

Проблема при использовании углерода заключается в том, что атомы платины имеют тенденцию собираться на нём «комками», кроме того, вода со временем уничтожает углерод подложки. Есть и другой способ изготовления топливных ячеек, предполагающий замену углерода на оксиды металлов – они более стабильны, да и катализатор на них ложится ровнее. Обратной стороной медали выступает низкая проводимость и трудности при получении строго необходимого оксида.

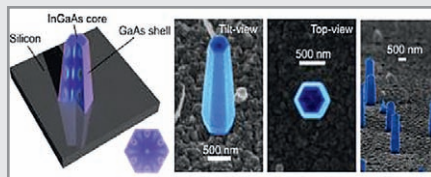
Предложенный учёными Университета Принстона (Princeton University) и Северо-западной тихоокеанской национальной лаборатории Министерства энергетики США (US DOE's Pacific Northwest National Laboratory) вариант топливной ячейки использует в качестве подложки комбинацию графена и оксида индия-олова (ИТО). В данный момент исследователи проводят испытания экспериментальных ячеек на предмет того, как они проявят себя в условиях реальной эксплуатации, включая тестирование долговечности, надёжности и эффективности. Будем надеяться, что со временем это приведёт к появлению недорогих

топливных ячеек, пригодных к серийному производству.

<http://www.graphene-info.com/>

Нанолазеры теперь выращивают прямо на кремнии

Исследователи из Университета Калифорнии в Беркли (University of California, Berkeley) разработали технологию выращивания нанолазеров непосредственно на поверхности кремния. Это достижение может привести к созданию нового класса чипов в области микропроцессоров, оптоэлектроники и биохимии. В поисках замены традиционных проводников для схем на чипах разработчики всё чаще обращают свой взгляд на оптическую электронику. Более высокая скорость передачи данных и отсутствие электрического сопротивления делают оптические межсоединения оптимальным решением для преодоления узких мест связи как внутри самого чипа, так и между чипами.



С другой стороны, вся электронная промышленность жёстко завязана на кремний и соответствующие технологические процессы. Но сам кремний мало приспособлен для работы в качестве источника света. Традиционно светоизлучающие приборы и лазеры изготавливают из полупроводников группы III-V. Вырастить источник света непосредственно на кремнии сложно из-за того, что соответствующая технология осаждения полупроводников III-V включает горячую фазу с температурой более 700°C. При таких условиях нарушается целостность кристалла, и создание чипа на нём становится невозможным.

Инженеры из Беркли, используя метод металл-органического химического осаждения, нашли способ вырастить нанолазер из арсенида галлия и индия на кремнии при температуре около 400°C. Аналогичный метод применяется при производстве солнечных батарей и считается относительно недорогим и технологичным.

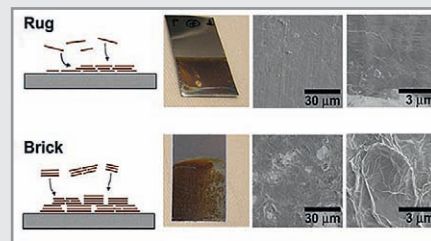
Представленный разработчиками образец инфракрасного лазера с длиной волны 950 нм работает при комнатной температуре. Гексагональную форму кристаллу придают для усиления эффекта резонанса и соответствующей генерации когерентного излучения.

<http://www.graphene-info.com/>

Листы графена могут эффективно отталкивать или притягивать воду

Учёные продолжают открывать новые свойства графена. Исследователи из Университета Вандербильта (Vanderbilt University) уверены, что этот перспективный материал можно использовать не только в качестве заменителя кремния при производстве электроники. Подтверждением этому являются результаты экспериментов, в ходе которых выяснилось, что слой графена можно наделить как гидрофильными, так и гидрофобными свойствами, в зависимости от структуры поверхности материала.

Чтобы получить графен, учёные использовали технику электрофоретического осаждения – для создания плёнки из наночастиц применяют электрическое поле в жидкой среде. Исследователи выяснили, что, варьируя водородный показатель (pH) и напряжение в процессе изготовления, можно заставить частицы оксида графена располагаться тем или иным образом. Очень ровная на атомарном уровне поверхность, названная «ковром», заставляет попадающую на неё воду располагаться тонкой ровной плёнкой. Другая пара характеристик «напряжение – водородный показатель» приводит к тому, что частицы собираются в «кирпичи», формируя неровную и «ухабистую» поверхность. Когда на неё попадает вода, она собирается в шарики и сбегает.



Практические перспективы открытия учёными весьма широки. Поскольку лист графена прозрачен, его можно нанести на ветровое стекло автомобиля, и тогда отпадёт надобность в использовании стеклоочистителей. В программе также самоочищающиеся стёкла очков, водоотталкивающая одежда и корпуса кораблей, крайне эффективно скользящих по воде. Впрочем, данными о стоимости производства графена таким способом учёные не делятся. Надеемся, это не станет крупным препятствием на пути к реализации вышеперечисленных технологий.

<http://www.graphene-info.com/>

Портативные анализаторы спектра SPECTRAN®

Олег Ефимов (Москва)

В статье представлено подробное описание и основные функции анализаторов спектра профессионального уровня серии HF-6000, с помощью которых можно осуществлять быстрые и точные измерения в диапазоне от 1 Гц до 9,4 ГГц.

Мощные портативные анализаторы SPECTRAN имеют превосходный внешний вид (рис. 1), очень удобны в обращении, имеют широкие возможности настройки и многообразие функций. Запатентованная методика измерений SPECTRAN является ключевой, благодаря которой обеспечивается компактный форм-фактор и непревзойдённая стоимость новых приборов SPECTRAN. Таким образом, анализаторы SPECTRAN являются идеальными приборами для специалистов различных областей промышленности, связи, систем безопасности, а также экспертов в об-



Рис. 1. Внешний вид анализатора спектра

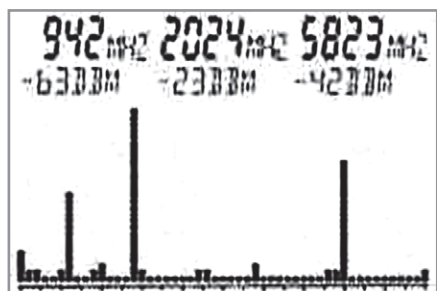


Рис. 2. Гистограмма спектра и автоматический вывод трёх составляющих на дисплей SPECTRAN®

ласти электромагнитной совместности (ЭМС) и экологии (ЭМЭ).

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СТАНДАРТАМ

Ранее поиск и местонахождение источников сигналов, измерение частоты и уровня сигнала от различных источников с непосредственным выводом на дисплей норм излучения возможно было проводить только на профессиональном и чрезвычайно сложном оборудовании. Анализаторы SPECTRAN HF-60100 могут распознавать источник излучения и даже определить провайдера, эксплуатирующего мачту сотовой связи. Причём неважно, что это: PLC, WiFi, RFID, WLAN, UMTS, сотовая радиосвязь, работающие сотовые телефоны, DECT-телефоны, TETRA, Bluetooth, широкополосная теле- или радиостанция. Новые модели SPECTRAN анализируют сигналы до 9,4 ГГц и выполняют измерения до 10 ГГц.

Частотные диапазоны анализаторов спектра и области их применения представлены в таблице.

Очень сложные вычисления по анализу спектра, включая вычисление норм излучения, производятся незаметно в фоновом режиме мощным ЦСП (цифровым сигнальным процессором) и выводятся на экран в режиме реального времени.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Анализатор SPECTRAN® разбивает весь анализируемый диапазон частот на узкие полосы, измеряет в них уровень сигнала и отображает результат измерения в виде гистограммы. Благодаря функции Auto Marker анализатор SPECTRAN автоматически выведет точное значение частоты и уровня для трёх самых мощных источников сигнала. В представленном на рис. 2 РЧ-спектре анализируемая полоса частот составляет 100 МГц...7 ГГц. Функция

Auto Marker автоматически выявила три основных источника сигнала:

- на частоте 942 МГц с уровнем –63 дБм (GSM);
- на частоте 2024 МГц с уровнем –23 дБм (UMTS);
- на частоте 5823 МГц с уровнем –42 дБм (802.11a WLAN).

Благодаря непосредственному выводу частоты отдельных источников сигнала возможна явная привязка результатов измерения к соответствующим источникам излучения.

Наиболее распространённые недорогие широкополосные измерительные устройства (особо распространённые в среде начинающих пользователей) не дадут детальной информации. К примеру, вы получили результаты измерения, но как их расшифровать? Сколько источников излучения сложилось в этом результате? Что служит источником излучения? Это разные источники? Может быть, показания являются результатом сложения нескольких источников? Какова соответствующая норма излучения для этого показания? Какова норма излучения, если это смесь разных частот? На эти вопросы трудно получить какой-либо ответ.

Пользуясь анализатором спектра SPECTRAN®, вы учитываете частоту источников сигнала как частоту только с наиболее существенным уровнем. Используя информацию о частоте, можно надёжно отделить источник излучения и выполнить вычисления норм излучения.

Из-за отсутствия анализа опорной частоты в дешёвых широкополосных устройствах может возникнуть ошибочное толкование: при вычислении норм излучения отклонение может достигать 1000-кратного значения!

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Приборы SPECTRAN® с функцией регистратора данных делают возможной продолжительную регистрацию результатов измерений на протяжении свободно настраиваемого интервала времени. Это необходимо для прове-

Характеристики анализаторов спектра РЧ SPECTRAN®

Характеристики	Модель						
	HF-2025E	HF-4040	HF-4060	HF-6060 V4	HF-6080 V4	HF-60100 V4	HF-XFR
Минимальная частота, МГц	700	100	100	10	10	1	1
Максимальная частота, ГГц	2,5	4	6	6	8	9,4	9,4
Оptionальный пиковый детектор мощности (максимальная применимая частота)***, ГГц	2,5	4	6	6	8	10	-
Средний уровень шума (1 Гц), дБм	-80	-90	-90	-135	-145	-155	-
Средний уровень шума (1 Гц) с предусилителем	-	-	-	-150	-160	-170	-170
Максимальный уровень сигнала	0	0	0	+10	+10	+40**	+40**
Минимальная ширина полосы фильтра (RBW), кГц	1000	100	100	3	1	0,2 (ТСХО)	0,2
Максимальная ширина полосы фильтра (RBW), МГц	50	50	50	50	50	50	50
EMC-фильтр (RBW) 9 кГц, 120 кГц, 5 МГц; 20 МГц; 40 МГц	-	-	-	+	+	+	+
Точность базового устройства (типичая), дБ	±4	±3	±3	±2	±2	±1	±1
Векторные измерения мощности (I/Q) и True RMS	+	+	+	+	+	+	+
Минимально возможный интервал выборки, мс	100	100	100	1	1	1	1
14-разрядный двойной АЦП/аппаратный фильтр DDC	-	-	-	+	+	+	+
Проверка соответствия стандартам (ICNIRP, BGV B11, BlmSchV и т. д)	+	+	+	+	+	+	+
Расширенный полный диапазон ICNIRPе	-	-	-	-	-	+	+
Быстрая временная развертка	-	+	+	+	+	+	+
Режим PULS	+	+	+	+	+	+	+
Расширенный режим удержания (функция HOLD)	-	+	+	+	+	+	+
Встроенный регистратор данных (длительные измерения)	-	+	+	+	+	+	+
Анализатор временных интервалов	+	+	+	+	+	+	+
Встроенный динамик	+	+	+	+	+	+	+
Данные калибровки антенны и кабеля	-	+	+	+	+	+	+
Аудиомодуляция	AM	AM&FM	AM&FM	AM&FM	AM&FM	AM&FM	AM&FM
Опции (по дополнительному заказу)							
Опция 001 (расширение памяти до 1Мб)	-	-	+	+	+	+	Жёсткий диск
Опция 002 (высокостабильный опорный генератор tcxo, 0,5E-6)	-	-	-	-	-	+	Включена
Опция 020 (Встроенный, переключаемый предусилитель 15 дБ)	-	-	-	+	+	+	Включена
Опция 20x (широкополосный измеритель мощности), ГГц	2,5	4	6	6	8	10	-



WWW.AARONIA.DE

ПОРТАТИВНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕННЫЕ АНТЕННЫ

ПОРТАТИВНЫЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА SPECTRAN®



SPECTRAN® HF-60100 V4



HyperLOG®

Логопериодические антенны



BicoLOG®

Биконические антенны



Измерительные комплекты



SPECTRAN®

Портативные анализаторы спектра

**САМЫЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ В МИРЕ
ПОРТАТИВНЫЙ АНАЛИЗАТОР!**

**СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ ШУМА ПРИ
5,555 ГГц: -170 дБм**

ЗАО «ТЕСТПРИБОР» ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ AARONIA (ГЕРМАНИЯ)

125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 24, оф. 718
 тел.: (495) 225-67-37, e-mail: TESTPRIBOR@TEST-EXPERT.RU
 HTTP://ТЕСТПРИБОР.РФ

Реклама

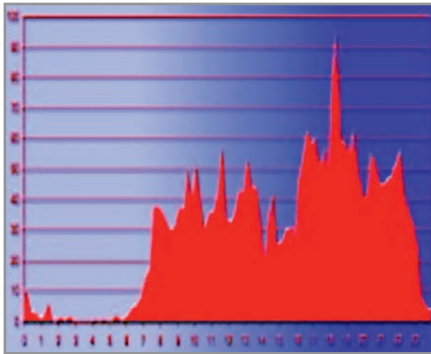


Рис. 3. График суточного изменения мощности РЧ-передатчика



Рис. 4. Вывод на дисплей SPECTRAN® норм воздействия как в процентном виде, так и в виде гистограммы

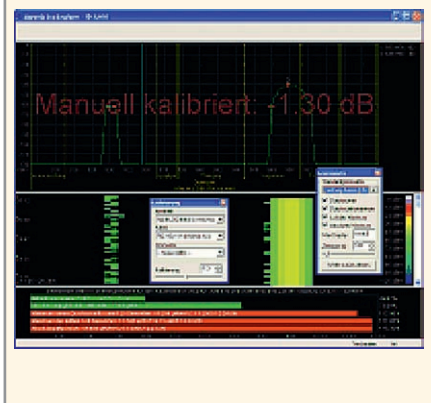
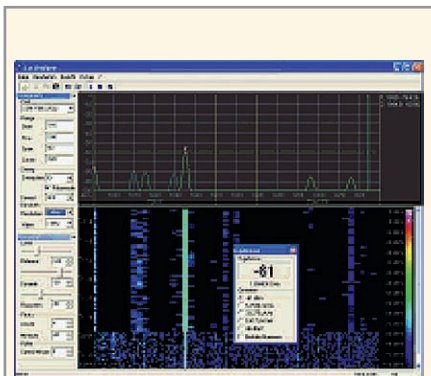


Рис. 5. Профессиональная программа для работы с ПК

дения тщательной оценки излучения источников, которые имеют изменяющееся во времени энергопотребление или интенсивность. Примером этому служит железнодорожный транспорт, линии электропередачи и электростанции, а также некоторые бытовые аппараты и различные высокочастотные передатчики, такие как

башенные сооружения для мобильной связи, радары и т.д. В зависимости от времени суток могут происходить значительные изменения уровня излучения (рис. 3). Без продолжительной регистрации может возникнуть серьёзная ошибка в оценке суммарного излучения.

Пользуясь анализатором SPECTRAN с функцией продолжительной регистрации, суточные изменения излучения могут быть зарегистрированы и подвергнуты анализу. Таким образом, можно точно оценить фактическое суммарное излучение.

Благодаря такой функциональной особенности, можно даже выявить спорадические проблемы с ЭМС, определить которые иным способом было бы очень трудно.

Даже несмотря на то, что приборы SPECTRAN могут работать на одном заряде батарей 2...3 ч (в зависимости от модели), интеллектуальный режим «пониженного энергопотребления» позволяет более продолжительную регистрацию данных и более длительные интервалы измерений. В конечном счёте, если этого недостаточно, для увеличения интервала времени регистрации до бесконечности можно воспользоваться внешним источником электропитания.

Нормы воздействия

Раньше вычисление норм воздействия было сложной и трудновыполнимой процедурой даже для профессионалов, так как в большинстве случаев имеет место хаотическая смесь большого количества разных частот, модуляций и уровней сигнала.

Важным моментом является то, что чрезвычайно сложные вычисления частотнозависимых норм воздействия в анализаторе спектра с мощным программным обеспечением можно проводить только с соблюдением требований стандартов. С устройствами SPECTRAN нет никаких проблем: они могут вычислять даже несколько официальных норм воздействия, предупредительные нормы и рекомендации и выводить их на дисплей в виде гистограммы, включая вывод соответствия в процентах, во время проведения измерения.

Приведённый снимок экрана SPECTRAN (рис. 4) демонстрирует, как это работает. Нажатием на кнопку из различных доступных норм вы-

бираем нормы воздействия по ICNIRP. Теперь анализатор SPECTRAN автоматически вычисляет соответствие этим нормам. В данном случае графический дисплей демонстрирует приближение к нормам ICNIRP на 6,06%. Вы можете даже охватить всю ширину полосы ICNIRP. Отсюда следует, что даже новичок может проводить вычисления норм воздействия в соответствии со стандартами без применения сложных таблиц и расчётов.

Профессиональная программа анализа на ПК

Профессиональная программа анализа на ПК демонстрирует безграничные возможности анализаторов SPECTRAN (рис. 5). Эту программу можно использовать в дополнение к установленной программе анализатора SPECTRAN, что расширяет возможности. Программу можно бесплатно загрузить с сайта компании Aaronia, и ПК превращается в настоящий анализатор спектра с большим дисплеем. Вы получаете следующие возможности:

- подключение и дистанционное управление несколькими приборами SPECTRAN, которые могут контролироваться с незамедлительным выводом снятых с них данных на отдельный ПК;
- произвольное масштабирование, цветное представление спектра с функцией Falloff;
- вывод идентификаторов каналов. Номера каналов свободно программируются и добавляются;
- отображение до 10 маркеров по частоте и уровню. Интуитивно понятное управление масштабированием с очень удобной настройкой частоты;
- высококачественный дисплей «водопада» с отложением времени по вертикали, свободно конфигурируемая цветная шкала, произвольно масштабируемый размер, дополнительный вывод данных непосредственно над графиком при наведении курсора;
- анализатор временных интервалов с высоким разрешением и трёхмерным представлением;
- все данные могут непрерывно записываться на диск. Формат файла может открываться приложениями обработки таблиц для создания собственных протоколов и т.п.;

- свободно позиционируемые окна для удобного ввода частоты, полосы пропускания, времени развёртки и т.д.;
- различные предварительно заданные профили для DECT, UMTS, GSM, WLAN и т.д. для быстрого повторного вызова, включая оптимальные параметры и расширенную информацию о канале;
- вывод нормы излучения с различными профилями (ICNIRP, ECOLOG и т.д.);
- произвольно задаваемое назначение кнопок и обозначений для измерительных приборов SPECTRAN;
- файловый менеджер и компилятор для создания и управления собственными программами для измерительных приборов SPECTRAN.

Большой цифровой ЖК-дисплей

Большой цифровой ЖК-дисплей (рис. 6) с высоким разрешением специально разработан Aaronia для SPECTRAN по технологии FSTN. В нём заложены широкие возможности представления информации:

- большой графический дисплей 51 × 25 пикселей может быть использован для представления сложного спектра и норм излучения, удобной навигации по меню;
- крупный цифровой четырёхразрядный дисплей;
- длинная полоса гистограммы (50 сегментов) с высоким разрешением для точного отображения;
- блоки отображения различных функций и режимов (AUDIO, MODE, MEMORY и т.д.);
- большой многофункциональный текстовый дисплей (шесть текстовых полей, например, для вывода данных о приборе, служебной информации и т.д.) и три дополнительных;
- три дополнительных цифровых четырёхразрядных дисплея, например, для одновременного вывода значений MIN, MAX, AVG, значений по трём маркерам, и т.д.;
- тройной многофункциональный текстовый дисплей, который используется, например, для вывода маркеров;
- шесть цифровых дисплеев для гибкого масштабирования гистограммы.

Благодаря огромному числу опций вывода информации, это устройство

способно выводить различные данные, гистограмму и спектр одновременно, без неудобного переключения вперёд и назад.

Высокоёмкие перезаряжаемые NiMH- и LiPo-батареи питания

В типовой комплект поставки входит специально разработанный для приборов аккумулятор. Благодаря технологии NiMH «эффект памяти» аккумулятора теперь остался в прошлом. Кроме того, причиной применения такой технологии является большая мощность потребления ЦСП, установленного во всех приборах SPECTRAN, особенно в РЧ-версиях, которые включают в себя схему ВЧ-приёмника. При использовании стандартных аккумуляторов ёмкостью 1300 мАч возможна работа SPECTRAN на протяжении примерно 3 ч.

Выполненный по технологии Lithium Polymer аккумулятор ёмкостью 3000 мАч (доступен по отдельному заказу) позволяет работать 6,5 ч. Это, несомненно, новый рекорд для портативных анализаторов спектра. Зарядное устройство также включено в поставку. В то же время его можно использовать для работы приборов SPECTRAN от сети электропитания. Зарядное устройство интегрировано во все приборы SPECTRAN, а впоследствии модели SPECTRAN NF-1010 и HF-2025 также могут быть дополнены аккумуляторами LiPo.

Комплект поставки и рекомендуемые принадлежности

В комплект поставки входит:

- РЧ-анализатор спектра SPECTRAN HF-6060 V4 (HF-6080 V4 или HF-60100 V4);
- направленная антенна HyperLOG 7060 (6080 или 60100);
- съёмная миниатюрная штыревая антенна;
- аккумулятор 1300 мАч с зарядным устройством;
- съёмная рукоятка с функцией миништатива;
- адаптер SMA;
- кабель SMA длиной 1 м;
- прочный алюминиевый кейс для переноски;
- подробное руководство и справочная информация.

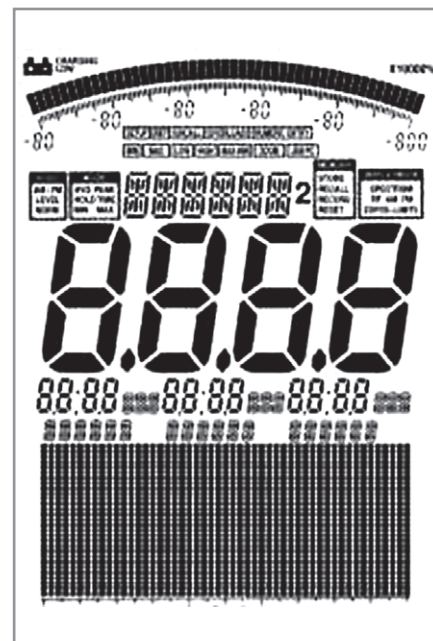


Рис. 6. Многофункциональный дисплей

Рекомендуемые дополнительные принадлежности:

- съёмная рукоятка с функцией миништатива, которая крепится к задней стороне прибора и предоставляет возможность манипулирования (особенно для направленных измерений) и даже фиксированной установки прибора, тогда как другая (из комплекта) рукоятка может быть использована для манипулирования антенной HyperLOG;
- кабель SMA с малым уровнем затуханий, длиной от 5 до 10 м;
- LiPo-аккумулятор ёмкостью 3000 мАч;
- дополнительная направленная антенна HyperLOG серии 40xx или 30xx, или биконическая антенна VicoLOG для расширенного до 20 МГц частотного диапазона;
- аттенюатор 20дБ для увеличенного до +40 дБм предела измерения (только для HF-60100 V4).

Анализаторы спектра серии HF-6000 V4/6080 V4/60100 V4 компактны, имеют высокую чувствительность и точность. Более того, они представляют такую функциональность, которая даже выше, чем у некоторых лучших промышленных образцов. Кроме всего этого можно отметить компактный форм-фактор и удобство эксплуатации. Превосходный внешний вид с исключительной функциональностью при идеальной цене – так кратко можно описать анализаторы спектра компании Aaronia.



Измерение тока в широком динамическом диапазоне: три схемных решения

Печатается с разрешения Analog Devices (www.analog.com)

Нил Жао, Веншуай Ляо и Генри Сино (США)

Перевод Андрея Данилова

В статье проанализированы схемы измерения тока, реализованные на базе ИС компании Analog Devices. Даны рекомендации по выбору элементной базы и номиналов пассивных компонентов. Приведены результаты испытаний.

ВВЕДЕНИЕ

Измерение тока является важной функцией, необходимой для высокоточного управления с обратной связью в таких приложениях, как управление двигателем, соленоидом, электропитанием и инфраструктурой связи. Оно охватывает диапазон от определяющих безопасность автомобильных и промышленных приложений до карманных приборов, где мощность и эффективность являются жизненно необходимыми. Высокоточный контроль тока позволяет разработчикам получать важную оперативную информацию, такую как момент двигателя, основанный на токе двигателя, КПД преобразователя постоянного тока, ток смещения мощного МОП-транзистора с боковой диффузией (LDMOS) базовой станции, или диагностическую информацию, такую как короткие замыкания на землю.

Чтобы понять ключевые компромиссы, параметры и задачи, стоящие перед разработчиками системы при выборе наиболее точного, рентабельного датчика тока для печатной платы, подробно рассмотрим измерение тока в мониторинге тока смещения МОП-транзистора в усилителях мощности базовой станции сотовой связи и других характерных приложениях.

Мониторинг тока является необходимым в усилителях мощности базовой станции, особенно вместе с более сложными методами модуляции, используемыми в 3G и LTE, где отношение пиковой мощности к средней изменяется от 3,5 дБ (примерно 2,2 : 1) для 3G W-CDMA до 8,5 дБ (примерно 7,1 : 1) для LTE OFDM, по сравнению с 3

дБ (примерно 2 : 1) для наиболее распространенного стандарта 2G GSM с одной несущей. Одной из функций замкнутой системы управления с обратной связью является измерение тока МОП-транзистора, которое позволяет устанавливать его напряжение смещения для правильной модуляции при данной мощности выхода. Как правило, этот постоянный ток смещения имеет широкий динамический диапазон с учётом средней, максимальной или минимальной нагрузки. Для разработчика это означает, что необходим точный датчик для измерения тока в диапазоне от 50 мА (или только 15 мА)* до 20 А, когда напряжение стока МОП-транзистора изменяется от 28 до 60 В.

Использование шунтирующего резистора для измерения этого тока означает, что разработчик ограничен очень малым шунтом, который не будет рассеивать слишком много мощности, когда ток МОП-транзистора составляет 20 А. Например, даже шунт в 10 мОм будет рассеивать 4 Вт при максимальном токе.

Хотя доступны шунтирующие резисторы, способные оперировать такой мощностью, более низкое рассеивание мощности может быть и требованием платы. Но выбор столь низких значений сопротивления означает, что при низких токах, например 50 мА, напряжение на шунте 10 мОм чрезвычайно мало (500 мкВ), что делает его проблемной для точного измерения – при помощи схемы, которая также должна выдерживать высокое синфазное напряжение.

Эта статья фокусируется на схемных решениях для измерения тока, кото-

рые могут помочь разработчикам точно отслеживать постоянные токи в широком диапазоне в присутствии высоких синфазных напряжений. Особое внимание также будет уделено температурному параметру. Этот важный параметр часто нелегко калибровать, но он должен быть учтён при эксплуатации усилителей мощности вне помещений. Ниже описаны три возможных подхода к решению – в порядке возрастания сложности проекта, – которые обеспечивают высокоточное измерение тока с высоким разрешением для различных приложений:

1. Использование дискретных компонентов, таких как ОУ, резисторы и стабилитроны, для построения датчика тока. Это схемное решение в качестве ключевого компонента использует усилитель с нулевым дрейфом AD8628;
2. Достижение повышенного уровня интеграции при помощи высоковольтного двунаправленного монитора токового шунта, такого как AD8210, с дополнительными внешними компонентами для расширения динамического диапазона и точности;
3. Использование специализированного прибора, такого как AD8217, удобный в применении, высокоинтегрированный датчик тока с нулевым дрейфом, работающий в диапазоне входного синфазного напряжения от 4,5 до 80 В.

КОНФИГУРИРОВАНИЕ СТАНДАРТНОГО ОУ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ПРИ БОЛЬШОМ СИНФАЗНОМ НАПЯЖЕНИИ

Рисунок 1 показывает дискретное схемное решение на основе ОУ с использованием AD8628. Аналогичную схему можно реализовать и с другими ОУ, но требуется особое сочетание параметров, таких как низкое напря-

*В соответствии с группой стандартов антенного интерфейса (AISG) 1.1.

жение смещения по входу и малый дрейф, низкий входной ток и способность работать при входных и выходных сигналах, близких к напряжениям на шинах питания. Другими рекомендованными усилителями являются AD8538, AD8571 и AD8551.

Эта схема отслеживает ток I в нагрузке. Усилитель смещён стабилитроном, в данном случае с напряжением 5,1 В. Использование стабилитрона гарантирует, что усилитель безопасно работает при высоком уровне синфазного сигнала и его напряжение питания остаётся постоянным и в допустимых пределах, пока выходной сигнал преобразуется в ток МОП-транзистором относительно земляного потенциала при помощи резистора R_L . После этого выходное напряжение может быть подано на преобразователи, аналоговые процессоры и другие компоненты, привязанные к заземлению, такие как ОУ и компараторы, для дальнейшей обработки сигнала.

В такой конфигурации падение напряжения на R_G равно падению напряжения на R_{SHUNT} , поскольку обратная связь через МОП-транзистор устанавливает одинаковое напряжение на обоих высокоимпедансных входах ОУ. Ток через резистор R_G протекает через полевой транзистор и резистор R_L , чтобы сформировать выходное напряжение V_{OUTPUT} . Взаимосвязь между током I , протекающим через шунтирующий резистор, и выходным напряжением V_{OUTPUT} описывается выражением (1):

$$V_{OUTPUT} = (I R_{SHUNT} / R_G) R_L \quad (1)$$

Выбор резистора R_{SHUNT} . Максимальное значение R_{SHUNT} ограничено допустимой потребляемой мощностью при максимальном токе. Минимальное значение R_{SHUNT} ограничено входным диапазоном и погрешностями ОУ. Обычно значение R_{SHUNT} составляет от 1 до 10 мОм для измерения токов свыше 10 А. Если единичный резистор не может удовлетворить требованию к потребляемой мощности либо слишком велик для печатной платы, R_{SHUNT} , возможно, придётся выполнить из нескольких параллельных резисторов.

Выбор резистора R_G . Резистор R_G используется для преобразования тока, пропорционального току на входе, в ток на выходе. Максимальное значение R_G ограничено током утечки сток-исток р-канала МОП-транзистора.

Например, обсудим распространённый р-канальный вертикальный МОП-транзистор с двойной диффузией, работающий в режиме обогащения, BSS84. Максимальное значение тока утечки I_{DSS} при различных условиях приведено в таблице 1.

Рассмотрим пример измерения тока стока МОП-транзистора (LDMOS) при синфазном напряжении 28 В и токе утечки $I_{DSS} = 100$ нА. Отображение минимального тока через резистор R_L должно быть по меньшей мере в 20 раз больше I_{DSS} . Результатом является:

$$R_{G_MAX} = I_{MIN} R_{SHUNT} / 20 \times 100 \text{ нА.}$$

Минимальное значение R_G ограничено допустимой потребляемой мощностью тока отображения при максимальном токе нагрузки $R_{G_MIN} = (I_{MAX} R_{SHUNT}) / I_{MIRROR_MAX}$.

Выбор резистора R_{BIAS} . Ток через резистор R_{BIAS} делится для формирования тока потребления ОУ и преимущественно постоянного напряжения на стабилитроне V_Z (которое определяет напряжение питания ОУ). Убедитесь, что ток, протекающий через стабилитрон, не превышает его максимальный ток стабилизации I_{ZMAX} , когда ток усилителя I_{SUPPLY} близок к нулю, а входное напряжение V_{IN} является максимальным:

$$R_{BIAS_MIN} = (V_{IN_MAX} - V_Z) / I_{Z_MAX}$$

Чтобы гарантировать стабильное напряжение на стабилитроне, ток, протекающий через него, должен быть в два раза выше его минимального рабочего тока I_{ZMIN} , когда ток потребления I_{SUPPLY} является максимальным, а входное напряжение V_{IN} минимально:

$$R_{BIAS_MAX} = (V_{IN_MIN} - V_Z) / (I_{Z_MIN} + I_{SUPPLY_MAX})$$

Стабилитрон и резистор R_{BIAS} являются ключевыми компонентами этой схемы, поскольку они снимают высокое синфазное напряжение с последующих цепей и позволяют использовать низковольтный прецизионный ОУ. Для наилучшей стабильности напряжения стабилитрон должен иметь малое динамическое сопротивление и низкий температурный дрейф.

Выбор резистора R_L . Резистор R_L используется для ограничения входного тока усилителя, если входные выбросы

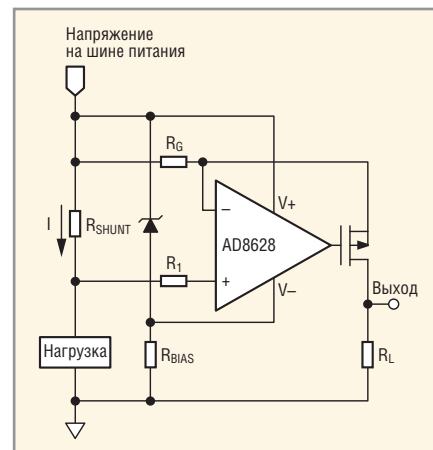


Рис. 1. Дискретная схема измерения больших токов, использующая операционный усилитель

превосходят напряжение питания ОУ. Рекомендуется резистор 10 кОм.

При низких значениях шунтирующего сопротивления и малых токах нагрузки важными параметрами становятся напряжение смещения ОУ, V_{OS} и входной ток I_{OS} . Произведение $I_{MIN} R_{SHUNT}$ должно превышать $(V_{OS} + I_{OS} R_L)$, в противном случае усилитель войдёт в режим насыщения. Следовательно, для оптимальной работы схемы предпочтителен усилитель, работающий с входными и выходными напряжениями «от питания до питания» и нулевыми переходными искажениями.

Другим параметром, который необходимо рассмотреть для этой дискретной схемы, является температурный дрейф. Даже если используется усилитель с нулевым дрейфом, очень трудно или дорого оптимизировать отклонения, обусловленные дискретными компонентами: стабилитроном, МОП-транзистором и резисторами. Согласно таблице 1, максимальный ток утечки МОП-транзистора изменяется от -10 до -60 мкА, когда температура эксплуатации изменяется от 25 до 125°C при напряжении затвор-исток $V_{GS} = 0$ В и напряжении сток-исток $V_{DS} = -50$ В. Этот дрейф снизит точность системы в диапазоне температур, особенно при малых измеряемых токах. Дрейф напряжения на стабилитроне воздействует на стабильность напряжения питания усилителя, по-

Таблица 1. Ток утечки сток-исток МОП-транзистора

Условия	Максимум IDSS
$V_{GS} = 0$ В; $V_{DS} = -40$ В; $T_J = 25^\circ\text{C}$	-100 нА
$V_{GS} = 0$ В; $V_{DS} = -50$ В; $T_J = 25^\circ\text{C}$	-10 мкА
$V_{GS} = 0$ В; $V_{DS} = -50$ В; $T_J = 125^\circ\text{C}$	-60 мкА

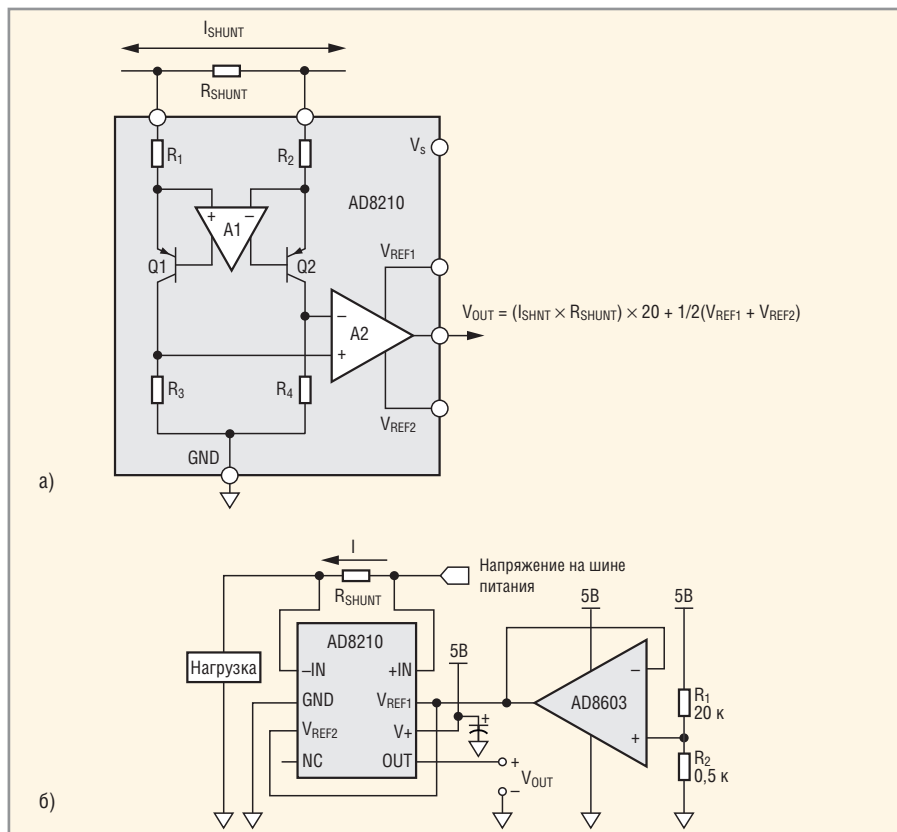


Рис. 2. (а) Высоковольтный двунаправленный измеритель тока шунта AD8210, $V_{OUT} = (I_{SHUNT} \times R_{SHUNT}) \times 20 + (V_{REF1} + V_{REF2})/2$; (б) схема измерения однонаправленного тока в широком диапазоне с использованием внешнего опорного напряжения

этому используемый ОУ должен иметь высокое значение ослабления нестабильности напряжения питания (PSR, КВНИП).

Кроме того, разработчики должны учитывать низкую энергетическую эффективность этой схемы. Значительная мощность потребляется резистором R_{BIAS} . Например, если синфазное напряжение составляет 28 В, напряжение на стабилитроне равно 5,1 В, а номинал резистора R_{BIAS} равен 1 кОм, схема будет рассеивать более 520 мВт нежелательной мощности. Эти добавки к общей потребляемой мощности и должны быть приняты во внимание.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА ПРИ ПОМОЩИ AD8210 И ВНЕШНИХ КОМПОНЕНТОВ

Рисунок 2а показывает упрощённую блок-схему интегрированного высоковольтного двунаправленного измерителя тока шунта AD8210; рисунок 2б демонстрирует пример схемы однонаправленного измерителя с внешним опорным напряжением.

Микросхема AD8210 усиливает малое дифференциальное входное напряжение, порождаемое положительным или отрицательным током, протекающим через резистор шунта.

Усилитель AD8210 подавляет высокие синфазные напряжения (до 65 В) и обеспечивает буферизованный выход, привязанный к земляной шине.

Как показано на рисунке 2а, он содержит два основных блока – дифференциальный усилитель и измерительный усилитель. Выводы входа подсоединены к дифференциальному усилителю А1 посредством резисторов R_1 и R_2 . Усилитель А1 обнуляет напряжение, появляющееся между его собственными входными выводами, подстраивая небольшие токи через резисторы R_1 и R_2 при помощи транзисторов Q1 и Q2. Когда входной сигнал AD8210 равен нулю, токи в резисторах R_1 и R_2 одинаковы. Когда дифференциальный сигнал отличается от нуля, ток увеличивается через один из резисторов и уменьшается в другом. Разность токов пропорциональна величине и полярности входного сигнала.

Дифференциальные токи через транзисторы Q1 и Q2 преобразуются в дифференциальное напряжение резисторами R_3 и R_4 . Усилитель А2 сконфигурирован как измерительный. Он преобразовывает дифференциальное напряжение в однофазное выходное напряжение с коэффициентом передачи 20 В/В, установленным встроен-

ными тонкоплёночными резисторами с точной подгонкой.

Выходное опорное напряжение удобно регулируется при помощи выводов V_{REF1} и V_{REF2} . В типичной схеме для обработки двунаправленного тока вывод V_{REF1} подсоединён к шине питания V_{CC} , тогда как вывод V_{REF2} подсоединён к шине нулевого потенциала GND. В этом случае выход привязан к напряжению $V_{CC}/2$, когда входной сигнал равен нулю, поэтому при 5-вольтовом питании выход смещён к 2,5 В.

Эта конфигурация хорошо работает в зарядно-разрядных схемах, но если пользователю требуется использовать весь выходной диапазон для измерения однонаправленного тока, то схема, приведённая на рисунке 2б, показывает типовой способ, которым может быть использован внешний источник для установки этого диапазона. Здесь резистивный делитель буферизован посредством ОУ, чтобы управлять соединёнными вместе выводами V_{REF1} и V_{REF2} для смещения выхода.

Без дополнительных схем усилителю трудно измерять ток нагрузки, когда он подходит близко к нулю. При 5-вольтовом питании AD8210 устанавливает линейный диапазон выходного сигнала от минимального значения в 50 мВ до максимального значения в 4,9 В:

$$V_{OUT} = I_{SHUNT} R_{SHUNT} \text{Gain} = 250 \text{ мА} \times 10 \text{ МОм} \times 20 = 50 \text{ мВ.}$$

Конфигурация, показанная на рисунке 2б, добавляет смещение, позволяющее измерять меньшие токи. Взаимосвязь между выходным напряжением и измеряемым током при коэффициенте передачи усилителя 20 В/В может быть рассчитана на основе выражения (2):

$$V_{OUTPUT} = I_{RSHUNT} \text{Gain}(\text{AD8210}) + [5 \text{ В} \times R_2 / (R_1 + R_2)]. \quad (2)$$

Например, с использованием резисторов R_1 и R_2 с номиналами 9800 и 200 Ом соответственно напряжение смещения составит 100 мВ. Когда входное дифференциальное напряжение равно 0, выход AD8210 сместится к 100 мВ, что безопасно и находится в линейной области. Если ток через шунт находится в диапазоне от 50 мА до 20 А, при $R_{SHUNT} = 10 \text{ МОм}$ входной диапазон составил бы от 0,5 до 200 мВ; а выходным диапазоном AD8210 явля-

ется 0,01...4 В плюс напряжение смещения, т.е. от 0,11 до 4,1 В – полностью в пределах паспортного линейного диапазона AD8210.

Фактически при помощи такой конфигурации разработчик может смещать выход AD8210 к любой точке в пределах его питающего напряжения с целью обработки произвольных диапазонов тока, имеющих любую степень асимметрии. Для буферизации делителя напряжения желательно использовать ОУ, поскольку к опорным входам подсоединены встроенные, точно подогнанные сопротивления, поэтому для получения наилучших результатов эти входы должны управляться при низком импедансе. Для буферизации внешнего опорного напряжения могут быть использованы высокоточные и недорогие ОУ, включая, например, AD8541, AD8601, AD8603, AD8605, AD8613, AD8691 и AD8655.

По сравнению с дискретным решением, эта интегрированная схема требует, чтобы измеритель токового шунта имел значительный диапазон синфазного напряжения и выходного смещения, если диапазон выходного напряжения не может удовлетворять требованиям диапазона обнаружения тока. Однако он может осуществлять двунаправленное измерение тока и позволяет избежать описанных выше проблем с температурным дрейфом и потребляемой мощностью. Дрейф напряжения смещения и коэффициента передачи AD8210 имеют гарантированный максимум в 8 мкВ/°С и 20×10^{-6} /°С соответственно. И если, например, в качестве буфера был использован AD8603, он мог бы внести смещение всего лишь 1 мкВ/°С, которым можно пренебречь, по сравнению с уже имеющимся низким дрейфом напряжения смещения AD8210. Потребляемая мощность делителя, R_1 и R_2 , составляет $(5 \text{ В})^2 / (R_1 + R_2)$ или всего лишь 1,2 мВт при использовании номиналов, указанных на рисунке 2б.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА ПРИ ПОМОЩИ УСИЛИТЕЛЯ С НУЛЕВЫМ ДРЕЙФОМ AD8217

Недавно компания Analog Devices представила AD8217, высоковольтный датчик тока, имеющий нулевой дрейф и полосу пропускания 500 кГц, разработанный специально для повышения разрешающей способности и точности в широких диапазонах изменения тем-

пературы, входного синфазного сигнала и дифференциального напряжения. Рисунок 3а показывает упрощённую блок-схему прибора, рисунок 3б – типовую схему его применения.

При измерении очень малых токов через небольшой шунтовой резистор, AD8217 характеризуется минимальным, 20-мВ изменением выходного напряжения во всём диапазоне температур, что лучше 50-мВ диапазона AD8210. Таким образом, если минимальный измеряемый ток нагрузки в шунте обеспечивает 20-мВ минимальное напряжение на выходе, что соответствует минимальному, 1-мВ входному сигналу от датчика тока, то пользователь может выбрать AD8217, включенный по схеме, показанной на рисунке 3б. Соотношение между выходным напряжением AD8217 и входным током может быть рассчитано по формуле (3):

$$V_{\text{OUTPUT}} = I_{\text{RSHUNT}} \times 20. \quad (3)$$

Микросхема AD8217 оснащена встроенным стабилизатором с низким падением напряжения (LDO), который обеспечивает постоянное напряжение питания для усилителя. Стабилизатор выдерживает высокое синфазное напряжение, которое может изменяться от 4,5 до 80 В, по существу выполняя функцию, аналогичную стабилитрону на рисунке 1.

Усилитель AD8217 предустановлен на коэффициент передачи 20 В/В с максимальной погрешностью $\pm 0,35\%$ во всём температурном диапазоне. Первоначально оговоренное смещение ± 300 мкВ в диапазоне температур и незначительный температурный дрейф, ± 100 нВ/°С, улучшат любой баланс погрешности. Буферизованное

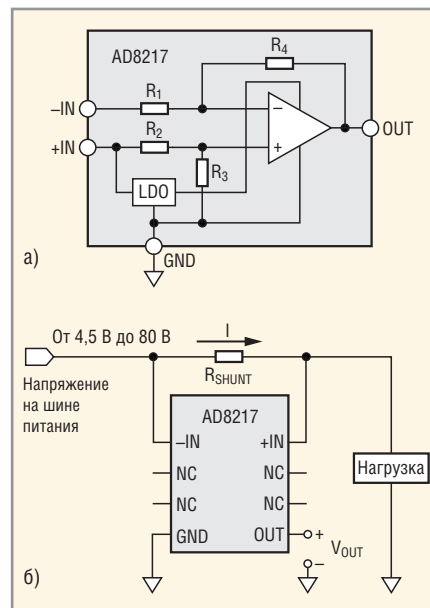


Рис. 3. (а) Шунтовой измеритель тока с высоким разрешением и нулевым дрейфом AD8217; (б) измерение тока при помощи AD8217

напряжение на выходе напрямую сопрягается с любым типовым аналого-цифровым преобразователем. Независимо от синфазного напряжения, AD8217 обеспечивает правильное выходное напряжение, когда входное дифференциальное напряжение составляет не менее 1 мВ. С использованием шунтирующего резистора 10 мОм минимальный ток может быть на уровне 100 мА.

Однокристальное решение позволяет избежать проблем с температурным дрейфом и потребляемой мощностью, присущих дискретной схеме.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Следующий раздел посвящён результатам испытаний, полученным при сравнении трёх различных методов. Входной ток через шунт регулировал-

CUSTOM HARDWARE & SOFTWARE DEVELOPMENT

Разработка программного обеспечения под Ваши требования

- системное ПО и драйвера для Windows/Linux
- программирование ПЛИС
- встраиваемое ПО для 8/16/32 битных микроконтроллеров

Программное обеспечение и электроника на заказ

Разработка электроники

- на базе процессоров Intel, Freescale, Altera NIOS II
- электронные устройства «под ключ»
- проектирование на основе современных электронных компонентов

«Алстон»
www.alston-int.com
info@alston-int.com

НАШИ ПАРТНЕРЫ

Реклама

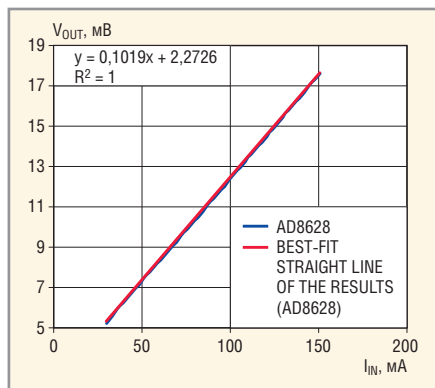


Рис. 4. Результаты испытаний при малых токах с ОУ типа AD8628 в схеме, показанной на рисунке 1

ся изменением и входного напряжения, и сопротивления нагрузки. Первоначальная калибровка была выполнена с целью устранения исходных погрешностей коэффициента передачи и напряжения смещения, связанных со всеми компонентами, использованными на плате.

Рисунок 4 представляет график выходного напряжения на резисторе R_L как функцию малых значений входного тока, протекающего через R_{SHUNT} и измеренного при помощи схемы, показанной на рисунке 1. Значение R_{SHUNT} составляет 10 мОм, $R_G = 13$ Ом, $R_{BIAS} = 100$ Ом, $R_1 = 10$ кОм, нагрузочное сопротивление составляет 200 Ом, $R_L = 200$ Ом, напряжение на стабилитроне равно 5,1 В; в качестве ОУ использован AD8628; МОП-транзистор – BSS84. Максимальная относительная погрешность равна 0,69%, а средняя погреш-

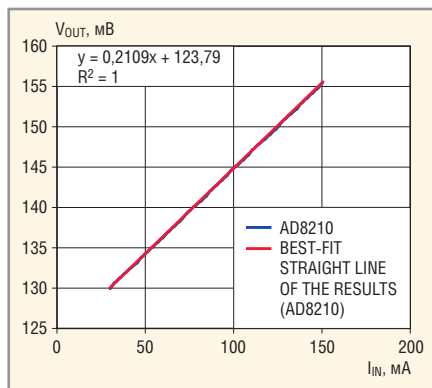


Рис. 5. Результаты испытаний при малых токах с AD8210 в схеме, показанной на рисунке 2б

ность составляет 0,21% после калибровки.

Рисунок 5 представляет график линейности выходного напряжения AD8210 как функцию малых значений входного тока, протекающего через R_{SHUNT} , измеренного при помощи схемы, показанной на рисунке 2. Номинал R_{SHUNT} составляет 10 мОм; $R_1 = 20$ кОм; $R_2 = 0,5$ кОм; сопротивление нагрузки равно 200 Ом. В качестве внешнего буфера опорного напряжения использован AD8603. Максимальная относительная погрешность равна 0,03%, а средняя погрешность составляет 0,01% после калибровки.

Рисунок 6 представляет график линейности выходного напряжения AD8217 в зависимости от малых значений входного тока, протекающего через R_{SHUNT} и измеренного при помощи схемы, показанной на рисунке 3б.

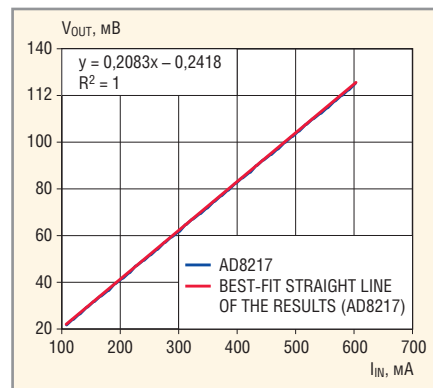


Рис. 6. Результаты испытаний при малых токах с AD8217 в схеме, показанной на рисунке 3б

Номинал резистора R_{SHUNT} составляет 10 мОм, а сопротивление нагрузки равно 50 Ом. Максимальная относительная погрешность составляет 0,088%, а средняя погрешность равна 0,025% после линейной коррекции.

Отметим, что все испытания были сосредоточены в нижней части диапазона и не покрывали весь диапазон от 50 мА до 20 А. Причина в том, что проблема линейности главным образом проявляется на участке диапазона с низким выходным напряжением (малом однополярном токе).

Также были выполнены температурные испытания каждой схемы при -40 , $+25$ и $+85$. Таблица 2 показывает максимальную относительную погрешность и среднюю погрешность, когда используется одинаковый поправочный коэффициент при $+25^\circ\text{C}$ для калибровки данных при -40 и $+85^\circ\text{C}$.

Если в системе имеется температурный датчик, различные поправочные коэффициенты могут быть использованы для калибровки данных при различных температурах, но при увеличении числа компонентов и стоимости производства. Таблица 3 показывает максимальную относительную погрешность и среднюю погрешность, когда использованы различные поправочные коэффициенты при температуре -40°C , $+25^\circ\text{C}$ и $+85^\circ\text{C}$.

Температурные испытания (см. рисунки 7–9) демонстрируют высокую точность, доступную в широком диапазоне температур с устройствами, использующими технологию автоматической коррекции напряжения смещения, особенно в случае с AD8217.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты испытаний показывают, что все три схемных решения могут быть использованы для измерения то-

Таблица 2. Максимальная и средняя погрешность при различных температурах с использованием одинакового поправочного коэффициента

Температура, °C	Погрешность	Схемное решение		
		AD8628	AD8210	AD8217
-40	Максимальная погрешность, %	11,982	2,117	0,271
	Средняя погрешность, %	4,929	2,059	0,171
+25	Максимальная погрешность, %	1,806	0,075	0,103
	Средняя погрешность, %	0,228	0,039	0,022
+85	Максимальная погрешность, %	6,632	3,800	0,918
	Средняя погрешность, %	5,769	3,498	0,421

Таблица 3. Максимальная и средняя погрешность при различных температурах с использованием различных поправочных коэффициентов

Температура, °C	Погрешность	Схемное решение		
		AD8628	AD8210	AD8217
-40	Максимальная погрешность, %	1,981	0,022	0,114
	Средняя погрешность, %	0,303	0,009	0,023
+25	Максимальная погрешность, %	1,806	0,075	0,103
	Средняя погрешность, %	0,228	0,039	0,022
+85	Максимальная погрешность, %	1,844	0,038	0,075
	Средняя погрешность, %	0,241	0,013	0,020

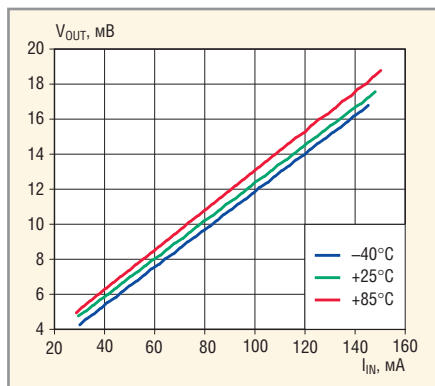


Рис. 7. Температурный эксперимент с использованием дискретного решения на базе AD8628

ка в широком диапазоне: Выходы являются линейными во всех трёх случаях, тогда как схемное решение с использованием AD8217 приводит к наименьшей погрешности без необходимости применения автономного источника питания. Характеристика дрейфа напряжения смещения ± 100 нВ/°C также делает его идеальным для наиболее точной работы во всём диапазоне температур от -40 до $+125$ °C. С перспективой разработки системы, однокристальное решение может сэко-

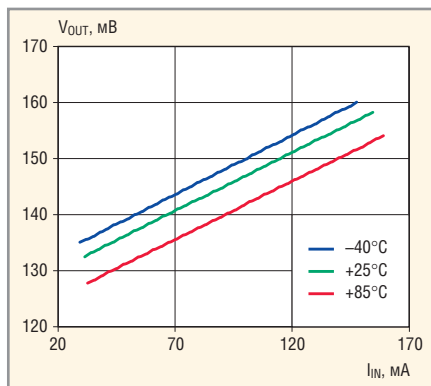


Рис. 8. Температурный эксперимент с использованием интегрированного решения на базе AD8210

номить площадь печатной платы, облегчить её разводку, уменьшить стоимость системы и повысить надёжность. Эти выводы применимы, в частности, к схемам измерения однонаправленного тока, где диапазон тока нагрузки является широким, а динамический диапазон – критичным.

На основе этих результатов испытаний, схема с использованием AD8217 является наиболее подходящим выбором для измерения и контроля однонаправленного тока в широком динамическом

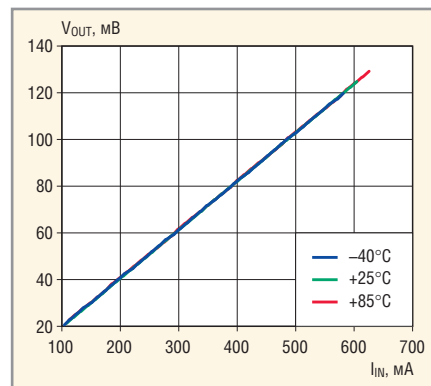


Рис. 9. Температурный эксперимент с использованием однокристального решения на базе AD8217

ком диапазоне. Мы также отмечаем, что схема на основе AD8210 допускает работу вплоть до нулевых входных напряжений, что может быть полезным для состояний короткого замыкания на землю. Отметим также, что схема с AD8210 способна к однокристальному контролю биполярного протекания тока, как в приложениях заряда-разряда.

В практических разработках систем, требующих наилучших параметров, рекомендуются калибровка и измерение температуры. ☺

Новый взгляд на промышленные соединения

Соединители Han-Yellock® от компании HARTING



Pushing Performance



Составной корпус

Перемычки на контакты

Четкая фиксация



Фиксирующий механизм внутри корпуса

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ HARTING В РОССИИ



АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Тел.: (495) 232-2522 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru

Реклама

Универсальная аналоговая микросхема для датчиков космической аппаратуры

Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов
(г. Минск, Беларусь)

Рассмотрены особенности схемотехники и применения радиационно-стойкой микросхемы, осуществляющей первичное преобразование сигналов чувствительных элементов датчиков физических величин.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОСХЕМ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

В последнее время возникла необходимость существенного повышения качества, надёжности, радиационной стойкости электронной компонентной базы (ЭКБ) для космических систем [1–4], в том числе, путём создания специализированных ИС различной степени интеграции [5–7].

Об актуальности указанной проблемы можно судить по включению в тематику IV Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2010» нового научного направления «Проектирование радиационно-стойких СБИС и элементной базы для космического применения», а также сделанным на конференции пленарным и аналитическим докладам [8].

Анализ имеющейся информации позволяет сделать вывод о том, что одна из главных задач, возникающих при изготовлении космической аппаратуры, заключается в проектировании и производстве интеллектуальных датчиков физических величин, содержащих чувствительный элемент, устройства предварительной аналоговой и окончательной цифровой обработки сигналов.

Так, на летательных космических и авиационных аппаратах число датчиков обычно составляет от 250 до 2000 в зависимости от типа объекта. Различные диапазоны регистрируемых параметров и сильно отличающиеся условия эксплуатации обуславливают многообразие преобразователей физических величин в электрические сигналы, хотя доминирующее положение занимают тензорезистивные, пьезорезистивные и емкостные датчики [9–11]. Во многих интеллектуальных датчиках допусти-

мо унифицировать цифровую обработку, но из-за различных характеристик первичных преобразователей для предварительной обработки сигналов необходимы аналоговые устройства, оптимизированные для работы с конкретным чувствительным элементом.

Проектирование аналоговых устройств затрудняет наличие у ЭКБ, применяемой в условиях космического пространства, следующих особенностей [7]:

- крайне малая серийность (от 10–15 до 100 000 шт.) на протяжении всего жизненного цикла изделия;
- высокие требования к надёжности;
- стойкость к воздействию космических излучений;
- расширенный температурный диапазон (–60...125°C).

По мнению разработчиков космических систем, ключевой задачей при создании ЭКБ для аппаратуры ракетно-космической техники и систем дистанционного зондирования земли является обеспечение приемлемой стоимости малосерийного производства широкой номенклатуры микросхем, длительного жизненного цикла, надёжности и стойкости к дестабилизирующим факторам космического пространства [7].

Известно, что создание специализированных аналоговых устройств на микросхемах общего назначения приводит к недопустимому для космических применений росту массогабаритных параметров, снижению уровня надёжности и радиационной стойкости аппаратуры. С другой стороны, разработка заказных микросхем обычно экономически целесообразна только при значительных (более 100 тыс. шт. в год) объёмах выпуска.

В то же время существуют экономически рациональные методы проекти-

рования и производства аналоговых микросхем с малым объёмом выпуска:

- программируемые (потребителем) аналоговые микросхемы (ПАИС) типа ispPAC и аналоговые подсистемы ПЛИС ispPAC Power Manager фирмы Lattice Semiconductor, ПАИС фирмы Anadigm [12, 13], аналоговые подсистемы систем на кристалле PSoC Cypress [14], аналоговая подсистема семейства ПЛИС Fusion, Smart Fusion фирмы Actel [15, 16];
- программируемые (изготовителем) аналоговые микросхемы на базовых матричных кристаллах (БМК), в том числе радиационно-стойких НБСК1501Т [17], QuickChip фирмы Maxim, АБМК_1_3 (ОАО «Интеграл», г. Минск) [18];
- программируемые аналоговые микросхемы на базовых кристаллах, в том числе структурные специализированные микросхемы (Structured ASIC) [19].

Каждый из указанных способов реализации микросхем обладает преимуществами и недостатками. Так, применение ПАИС позволяет запрограммировать выполнение в микроэлектронном устройстве требуемых аналоговых функций прямо на рабочем месте разработчика и с минимальными затратами. В то же время состав и параметры доступных в ПАИС аналоговых блоков обычно не удовлетворяют требованиям космических применений, особенно по радиационной стойкости.

Специализацию (программирование) БМК осуществляют путём формирования межсоединений на ранее изготовленных полупроводниковых пластинах с размещёнными активными и пассивными элементами. Межсоединения формируются на предприятии – изготовителе микросхем, а разработка осуществляется на уровне элементов, что увеличивает сроки создания специализированной микросхемы и не исключает вероятность ошибок и невыполнения требований технического задания по уровню параметров и радиационной стойкости.

В отличие от БМК, структурные ИС содержат как набор полностью сформированных аналоговых блоков, так и активные и пассивные элементы, не соединённые между собой. Программирование происходит на предприятии – изготовителе микросхем путём соединения известных блоков и элементов. Наличие сертифицированных, в том числе по стойкости к радиационному воздействию, аналоговых блоков существенно снижает «риск» проектирования, а временные и материальные затраты на создание нового изделия меньше, чем при использовании БМК. Однако для применения структурных микросхем необходимо предварительно изготовить и экспериментально апробировать необходимые аналоговые блоки.

Таким образом, для производства интеллектуальных датчиков космической аппаратуры необходима широкая номенклатура радиационно-стойких аналоговых устройств, оптимизированных для работы с конкретными чувствительными элементами, причём реализация таких специализированных аналоговых ИС экономически целесообразна на базовых матричных и структурных кристаллах.

Целью настоящей статьи является описание созданной на базовом матричном кристалле АБМК_1_3 радиационно-стойкой ИС, которая за счёт использования внешних цепей отрицательной обратной связи (ООС) может осуществлять преобразование сигналов разной длительности от чувствительных элементов, имеющих как высокий, так и низкий выходной импеданс при симметричном или несимметричном считывании сигнала.

Разработанная ИС может найти применение в различной датчиковой аппаратуре, в то же время по результатам её тестирования планируется разработка специализированного базового структурного кристалла для производства датчиков космической аппаратуры.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СХЕМОТЕХНИКИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ АНАЛоговой МИКРОСХЕМЫ

Несмотря на существование и применение в радиоэлектронной аппаратуре разнообразных конструкций датчиков физических величин [20–22], с точки зрения электрических параметров их можно рассматривать как вы-

сокоимпедансные или низкоимпедансные источники продолжительных или кратковременных электрических сигналов.

При моделировании большинство высокоимпедансных датчиков допустимо представить в виде источников импульсов тока, характеризующихся высоким сопротивлением и ёмкостью от десятков до тысяч пикофарад. Обычно датчик соединяется с устройством, которое преобразует входной импульс тока в выходное напряжение с длительностью, достаточной для обработки последующими каскадами (см. рис. 1) [23].

При коротких сигналах датчиков для этих целей чаще всего применяются импульсные преобразователи заряда в напряжение, так называемые зарядочувствительные усилители (ЗЧУ). Если импульс тока датчика имеет протяжённую плоскую вершину, которую необходимо зарегистрировать, то используются импульсные преобразователи тока в напряжение (трансрезистивные усилители, ТРУ). Они обладают малым входным сопротивлением и благодаря этому также применяются при работе с датчиками, имеющими большую ёмкость и высокую частоту поступления входных импульсов.

В идеальном случае, ЗЧУ должен сформировать из входного токового сигнала в виде δ -функции выходное ступенчатое напряжение. Чаще всего эту операцию выполняет инвертирующий усилитель напряжения (U на рис. 1) с большим коэффициентом усиления и одним доминирующим полюсом, охваченный ООС с помощью конденсатора C_F . Однако с течением времени конденсатор C_F заряжается постоянной составляющей входного тока I_{INDC} , возникающей вследствие наложения импульсов тока, наличия входного тока инвертирующего усилителя и тока утечки датчика, что приводит к изменению уровня выходного напряжения (V_{OUT}) и уменьшению динамического диапазона, а в предельном случае – к потере работоспособности выходного каскада инвертирующего усилителя. Для уменьшения влияния постоянной составляющей I_{INDC} на динамический диапазон ЗЧУ параллельно конденсатору C_F подключается резистор R_F , который устанавливает уровень выходного напряжения при отсутствии входного сигнала:

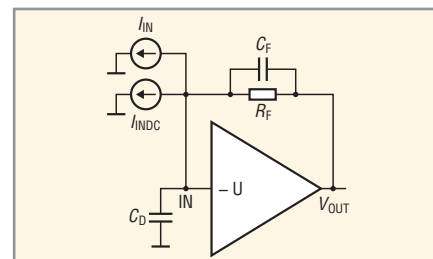


Рис. 1. Схема преобразования сигнала высокоимпедансного датчика

C_D – ёмкость датчика; I_{IN} – импульсный ток датчика; I_{INDC} – постоянная составляющая суммарного тока, протекающего через входной узел IN; U – инвертирующий усилитель напряжения; R_F , C_F – элементы цепи обратной связи

$$V_{OUTDC} = V_{INDC} + I_{INDC}R_F, \quad (1)$$

где V_{OUTDC} , V_{INDC} – выходное и входное напряжение ЗЧУ по постоянному току.

Отметим, что такую же схемотехническую структуру может иметь ТРУ, в котором резистор R_F преобразует входной импульс тока в выходное напряжение, а конденсатор C_F обеспечивает устойчивую работу усилителя с цепью ООС. Различие заключается в соотношении активной и реактивной составляющих проводимости цепи ООС: для ЗЧУ в полосе частот (f) спектра входного сигнала преобладает ёмкостная составляющая проводимости ($R_F \gg 1/2\pi f C_F$), а для ТРУ – резистивная ($R_F \ll 1/2\pi f C_F$).

Любой токовый сигнал I_{IN} , поступающий на вход импульсного преобразователя (U, R_F , C_F на рис. 1), вызывает падение напряжения $V_{IN} = I_{IN}Z_{EQ}$ на эквивалентном входном импедансе Z_{EQ} , состоящем из параллельного соединения динамического импеданса обратной связи $Z_F/(1 + K_V)$ и суммарного импеданса всех параллельных цепей $Z_{\Sigma IN}$, соединённых с входом:

$$Z_{EQ} = \left(\frac{1}{Z_{\Sigma IN}} + \frac{1 + K_V}{Z_F} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где K_V – коэффициент усиления напряжения инвертирующего усилителя при разомкнутой цепи ООС; Z_F , $Z_{\Sigma IN}$ – импеданс ООС и суммарный импеданс всех параллельных цепей, соединённых с входом (узел IN на рис. 1).

Увеличение входной проводимости объясняется тем, что каждому изменению потенциала в узле IN соответствует в K_V раз большее изменение потенциала противоположного знака на другом выводе импеданса ООС Z_F и ток, протекающий через импеданс

обратной связи, в $(1 + K_V)$ раз больший, чем в случае заземлённого вывода Z_F . Так как выходное напряжение V_{OUT} инвертирующего усилителя в K_V раз больше входного, для коэффициента передачи с замкнутой ООС справедливо соотношение:

$$K_F = \frac{-V_{OUT}}{I_{IN}} = -K_V Z_{EQ} = -\frac{Z_F}{1 + \frac{Z_F}{Z_{\Sigma IN}}}, \quad (3)$$

где K_F – коэффициент передачи инвертирующего усилителя при замкнутой цепи ООС, а знак «-» означает инверсию напряжения.

Для ЗЧУ пренебрегают активной составляющей эквивалентной входной проводимости по сравнению с реактивной. В этом случае для коэффициента передачи (коэффициента преобразования входного заряда в выходное напряжение K_{QV}) без учёта влияния АЧХ инвертирующего усилителя, т.е. в предположении, что коэффициент усиления K_V сохраняет постоянное значение в спектре частот входного сигнала, можно получить:

$$K_{QV} = \frac{-V_{OUT}}{Q_{IN}} \approx -\frac{1}{C_F} \frac{1}{1 + \frac{C_D + C_{IN}}{C_F}}, \quad (4)$$

где Q_{IN} – заряд, генерируемый датчиком; C_D , C_{IN} – ёмкость датчика и входная ёмкость инвертирующего усилителя.

Выражение (4) соответствует общепринятому качественному описанию функционирования ЗЧУ: токовый сигнал датчика в виде δ -функции интегрируется на суммарной динамической ёмкости обратной связи $C_F(1 + K_V)$, датчика C_D , входной ёмкости усилителя C_{IN} и преобразуется в входное напряжение, которое усиливается в K_V раз с помощью инвертирующего усилителя. При этом задний фронт выходного импульса имеет экспоненциальный спад с постоянной времени $\tau_F = C_F R_F$, а передний фронт описывается постоянной времени τ_R , прямо пропорциональной доминирующей постоянной времени τ_{AMPL} инвертирующего усилителя [24]:

$$\tau_R = \frac{\tau_{AMPL}}{1 + K_V \frac{C_F}{C_D + C_{IN}}}. \quad (5)$$

Из соотношения (4) следует, что для обеспечения постоянного коэффициента преобразования $K_{QV} \approx -1/C_F$ при разных значениях ёмкостей датчиков необходимо выполнение условия:

$$K_V \gg 1 + \frac{C_D + C_{IN}}{C_F}. \quad (6)$$

Чаще всего инвертирующий усилитель реализуют с помощью каскодной схемы (ОЭ-ОБ, ОИ-ОЗ) или каскодного включения комплементарных транзисторов – т.н. «свёрнутого» каскода (folded cascode). Каскодные усилители обладают рядом преимуществ: стабилизация потенциала на коллекторе (стоке) «головного» транзистора уменьшает эффект Миллера и динамическую входную ёмкость C_{IN} ; совместно с активной нагрузкой каскод обеспечивает усиление одного каскада, достаточное для выполнения условия (6), что упрощает частотную коррекцию и расширяет полосу пропускания. Кроме того, «свёрнутые» каскоды осуществляют сдвиг уровня постоянного напряжения для увеличения динамического диапазона.

Как указывалось ранее, в цепи ООС ТРУ преобладает резистивная составляющая проводимости. Тогда из соотношения (3) для коэффициента преобразования входного тока в выходное напряжение (K_{IV}) в области низких частот получим:

$$K_{IV} = \frac{-V_{OUT}}{I_{IN}} = -\frac{R_F}{1 + \frac{R_F}{R_{IN}}}, \quad (7)$$

где R_{IN} – входное сопротивление инвертирующего усилителя.

Если $K_V \gg 1 + R_F/R_{IN}$, то коэффициент преобразования входного тока в выходное напряжение ТРУ определяется только сопротивлением резистора обратной связи R_F , поэтому от усилителей с полевыми транзисторами (большим R_{IN}) не требуется высокого коэффициента усиления K_V .

Для уменьшения уровня шумов и получения требуемой амплитуды напряжения выходной сигнал ЗЧУ и ТРУ обычно усиливают и ограничивают спектр частот с помощью полосового фильтра (ПФ) или фильтра нижних частот (ФНЧ). Предварительная обработка сигнала низкоимпедансных датчиков (источников напряжения) так-

же включает усиление и подавление шумов вне полосы частот сигнала датчика с помощью ПФ или ФНЧ.

С учётом рассмотренного выше, в состав разработанной микросхемы включены следующие аналоговые устройства:

- инструментальный усилитель (ИУ), выполненный по классической схеме на трёх операционных усилителях (U2A, U2B, U2C на рис. 2 и 3) и позволяющий с помощью внешнего резистора, подключенного между выводами InINV1 и InINV2, устанавливать коэффициент усиления постоянного напряжения в диапазоне от 2 до 200 В/В и уменьшать полосу пропускания за счёт внешнего конденсатора, соединённого с выводом Con3;
 - два предварительных усилителя на операционных усилителях (ОУ) с входными п-р-п-транзисторами и компенсацией входного тока (U1A, U1B на рис. 2), которая обеспечивает возможность применения резистора ООС с номиналом до 100 МОм. Для установления близкого к нулю выходного напряжения ОУ с большим R_F рекомендуется использование выводов VERL (для подключения внешнего микромощного источника напряжения 1...5 В) и CPA-CPB (для подключения внешнего переменного резистора, с помощью которого выполняется точная балансировка входных токов). Цепь ООС может быть образована внешним резистором и конденсаторами: встроенным ($C_{FINT} = 0,9$ пФ) и внешним (C_F) с суммарной ёмкостью (C_{FS}) до 100 пФ;
 - два предварительных усилителя (U4A, U4B на рис. 3) на инвертирующих усилителях напряжения с входными полевыми транзисторами с р-п-переходом и каналом р-типа (р-ПТП) и токовым аттенуатором (ТА) для реализации функции т.н. «активного резистора». Цепь ООС может быть образована внешним резистором с номиналом до 1 ГОм (либо внешним резистором и ТА) и конденсаторами $C_{FINT} = 0,9$ пФ, C_F с суммарной ёмкостью до 20 пФ.
- На одном кристалле расположены все рассмотренные аналоговые блоки, однако в зависимости от типа используемых чувствительных элементов целесообразно осуществлять реализацию (сборку в корпус) двух вариантов канала обработки сигнала (см. рис. 2 и 3).
- Для работы с низкоимпедансными источниками сигнала допустимо использование одного ИУ (напряжение

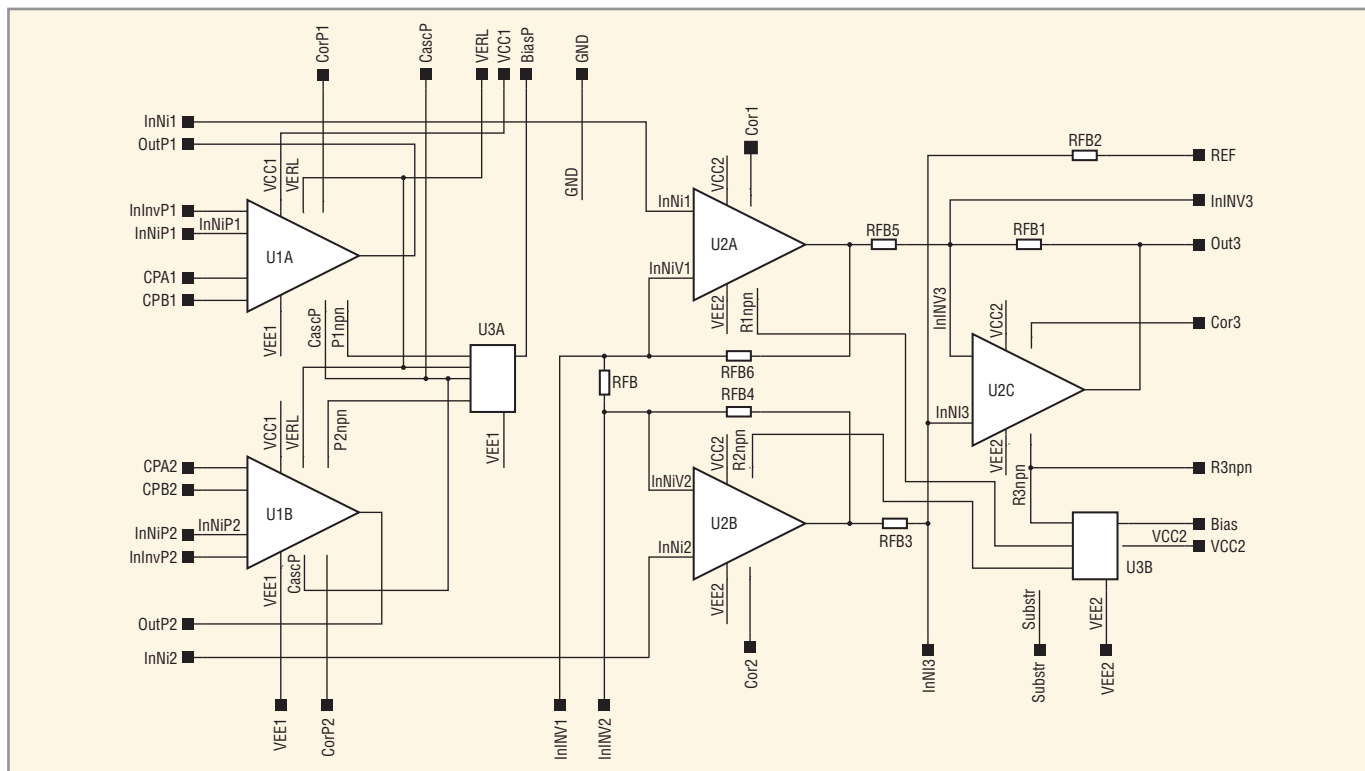


Рис. 2. Схема канала, содержащего предварительные усилители с входными п-р-п-транзисторами

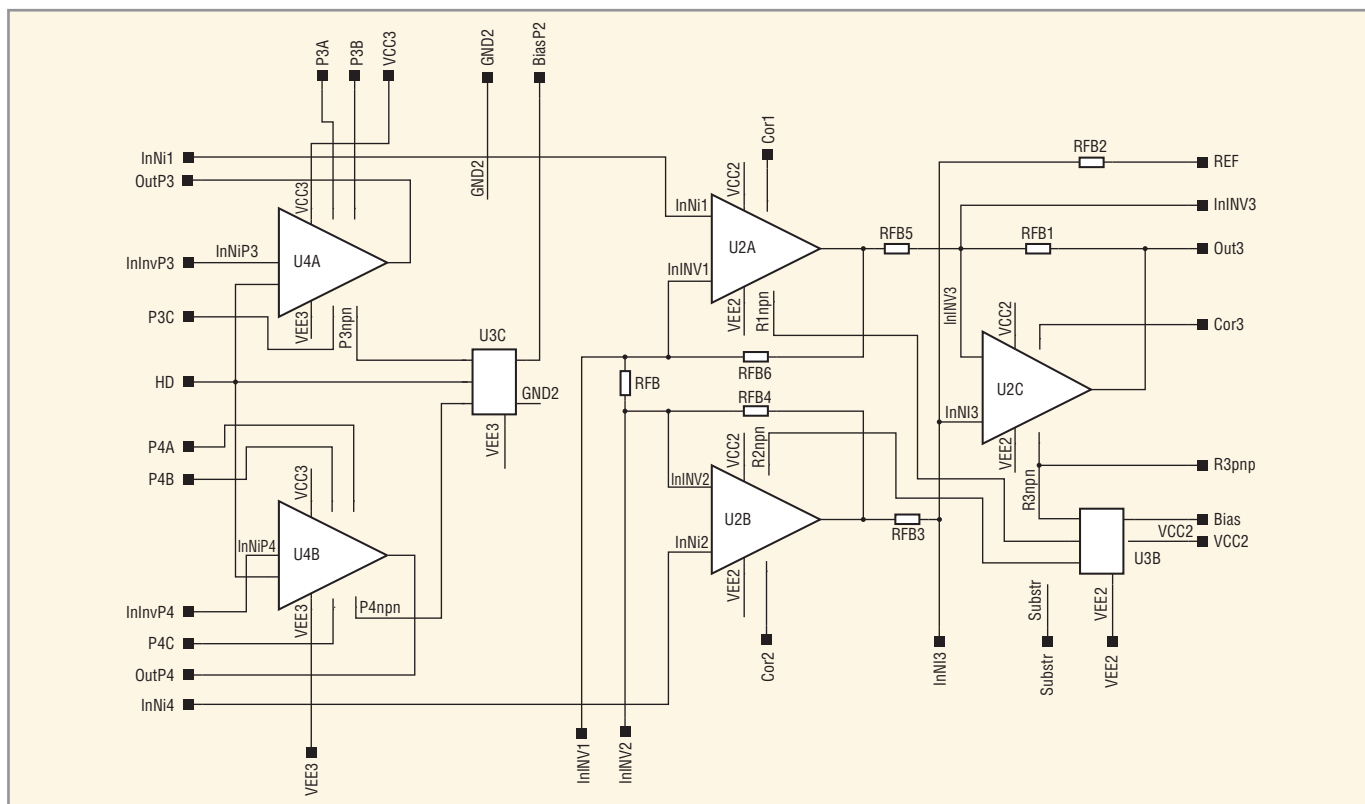


Рис. 3. Схема канала, содержащего предварительные усилители с входными р-ПТП

питания поступает только на выводы VCC2, VEE2) с входами InNi1 и InNi2 для симметричного или несимметричного (при «заземлении» одного из входов InNi1 или InNi2) считывания сигнала с чувствительных элементов.

Для мостовых схем включения чувствительных элементов целесообразно применение канала, показанного на ри-

сунке 2, при этом ОУ U1A, U1B за счёт включения внешних элементов ООС выполняют функции неинвертирующих усилителей напряжения с большим входным сопротивлением, выходной сигнал которых поступает на ИУ (с вывода OutP1 на InNi1, OutP2 – на InNi2).

Функции ЗЧУ и ТРУ могут выполнять предварительные усилители обоих ка-

налов. Даже при несимметричном считывании сигнала с чувствительных элементов рекомендуется использование обоих усилителей в канале, включенных одинаково (как ЗЧУ или ТРУ), с последующим усилением и фильтрацией сигнала с помощью ИУ. Такая псевдодифференциальная структура позволяет уменьшить радиационное изменение

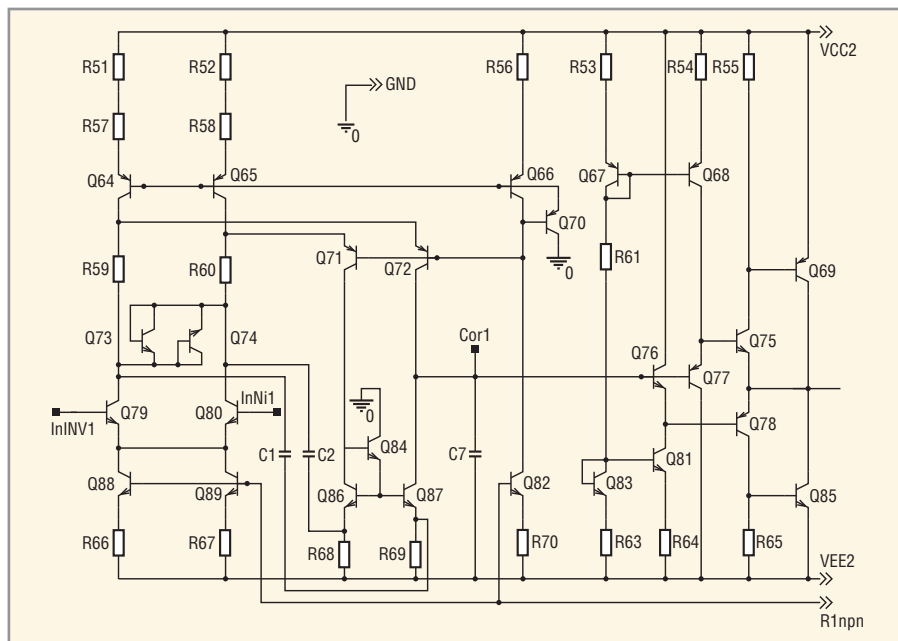


Рис. 4. Электрическая схема ОУ U2A

и температурный дрейф основных параметров сквозного канала, включающего ЗЧУ (ТРУ) и ИУ, а именно, постоянного выходного напряжения на выводе Out3 при отсутствии входного сигнала, максимального размаха выходного сигнала и коэффициентов K_{QV} , K_{IV} .

Усилители U2A, U2B, U2C выполнены по одной электрической схеме, показанной на рисунке 4. За основу при их раз-

работке взят ранее апробированный счетверенный ОУ [25, 26], который был упрощён, а режимы работы транзисторов выбраны для минимизации потребляемого тока, обеспечения полосы пропускания около 1 МГц и малого изменения параметров при поглощённой дозе гамма-излучения 100 кРад и воздействии потока нейтронов до 10^{13} см^{-2} . Такого уровня радиационной стойкости доста-

точно для космических применений [5], однако в дальнейшем планируется модернизация микросхемы по двум альтернативным направлениям: существенное улучшение радиационной стойкости (ориентировочно до 1 Мрад и потока нейтронов до 10^{14} см^{-2}) с помощью методов, представленных в [27], и максимальное уменьшение тока потребления. Для устранения влияния ОУ U2A, U2B, U2C друг на друга через общий блок питания (U3B) смещение источников тока по шинам R1npr, R2npr, R3npr осуществляется через отдельные эмиттерные повторители, размещённые в U3B.

Входной каскад ОУ (см. рис. 4) представляет собой «свёрнутый» каскод, образованный n-p-n-транзисторами Q79, Q80 с общим эмиттером, источниками тока Q64, Q65 и p-n-p-транзисторами Q71, Q72 с общей базой. Применение «свёрнутого» каскода позволяет осуществить сдвиг постоянного уровня напряжения к шине отрицательного напряжения питания VEE2 и применить динамическую нагрузку в виде повторителя тока на n-p-n-транзисторах Q84, Q86, Q87. Такой ОУ можно рассматривать как однокаскадный, в котором всё усиление напряжения осуществляется в высокоимпедансном узле соединения коллекторов транзис-

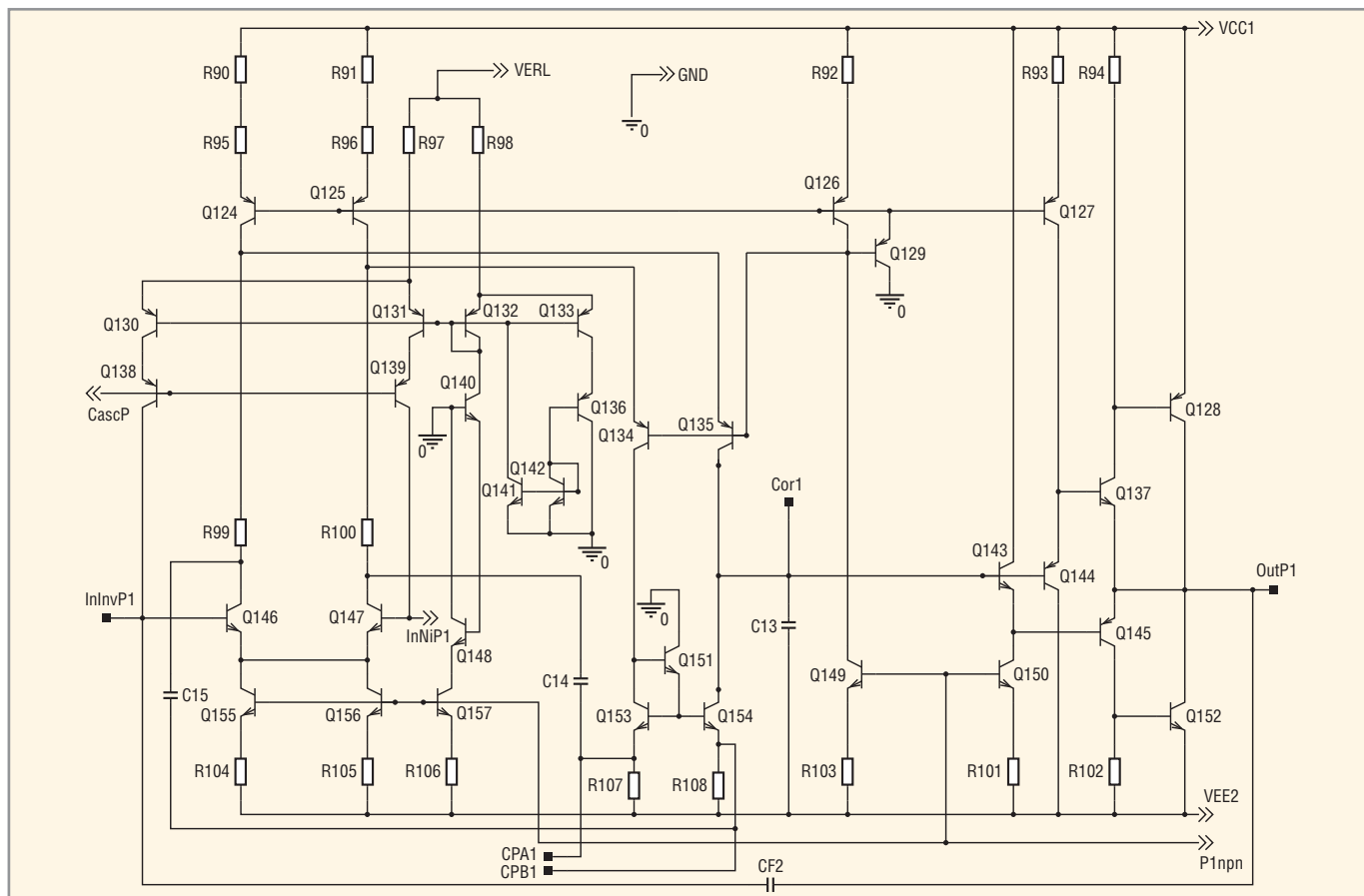


Рис. 5. Электрическая схема ОУ U1A

торов Q72 и Q87, что позволяет осуществлять простую коррекцию АЧХ подключением внешнего корректирующего конденсатора к выводу Cor1. Для сохранения усиления при работе на внешнюю нагрузку высокоимпедансный узел соединяется с выходом через последовательно включенные эмиттерные повторители Q76, Q78 и Q77, Q75. Транзисторы с общим эмиттером Q69, Q85 ускоряют перезаряд емкостной составляющей нагрузки.

Предварительные усилители U1A, U1B отличаются от ОУ, показанного на рисунке 4, наличием выводов CPA, CPB (см. рис. 5) для балансировки ОУ и схемой компенсации входных токов. Транзистор Q157 и резистор R106 идентичны по конструкциям Q155, R104 и Q156, R105, а транзистор Q148 идентичен Q146, Q147, поэтому при одинаковом напряжении на базах Q146, Q147 коллекторный ток Q157 равен коллекторному току Q146, Q147, а базовый ток Q148 практически равен базовому току Q146, Q147, т.е. входному току ОУ. Повторитель тока на каскодном токовом зеркале Q130, Q131, Q138, Q139 инвертирует базовый ток Q148 по направлению и добавляет к базовым токам входных транзисторов, осуществляя компенсацию входного тока. Подробно функционирование схемы компенсации, в том числе назначение транзисторов Q133, Q136, Q141, Q142, рассмотрено в [28]. К сожалению, низкое выходное малосигнальное сопротивление, описываемое напряжением Эрли, транзисторов современных БИС/СБИС [23] и его технологический разброс, особенно значительный для горизонтальных р-п-р-транзисторов, уменьшают эффективность схемы компенсации входного тока. Для минимизации влияния разброса напряжения Эрли на работу схемы компенсации в ОУ предусмотрен отдельный вывод VERL для подключения внешнего источника напряжения.

Предварительный усилитель U4A (U4B) состоит из «свёрнутого» каскода, образованного малошумящим р-ПТП Q17 с общим истоком, п-п-п-транзистором с общей базой Q24 и динамической нагрузкой на источнике тока Q5; для увеличения выходного малосигнального сопротивления которого применено каскодное включение р-п-п-транзистора и р-ПТП. Усилитель также является однокаскадным усилителем напряжения, высокоимпедансный узел которого (коллектор Q24) соединён с внешней нагрузкой через последовательно вклю-

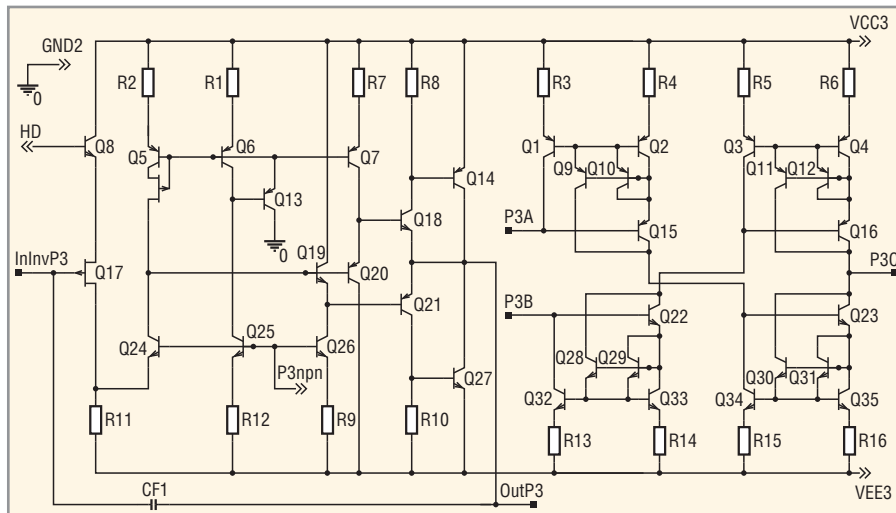


Рис. 6. Электрическая схема инвертирующего усилителя U4A и токового аттенюатора

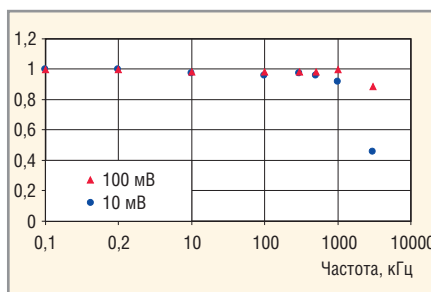


Рис. 7. Нормированная АЧХ ИУ в режиме холостого хода при $K_{VУ} \approx 17$ и разном входном напряжении

К выводам Cor1, Cor2, Cor3, а также между Out3 и InInv3 подключены конденсаторы 10 нФ

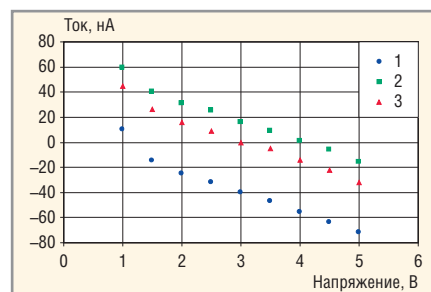


Рис. 8. Зависимость входного тока предварительного усилителя U1A от напряжения на выводе VERL при $R_F = 1 \text{ МОм}$, $V_{CC} = 5 \text{ В}$, $V_{EE} = -5 \text{ В}$
График 1 получен без балансировки ОУ, 2 – при балансировке и VERL = 4 В, 3 – при балансировке и VERL = 3 В

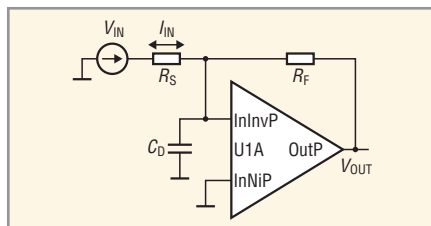


Рис. 9. ТРУ на основе предварительного усилителя U1

ченные эмиттерные повторители. Малошумящий транзистор с общей базой Q8 задаёт потенциал истока головного транзистора Q17 и определяет совместно с потенциалом узла P3npn (VP3NPN) уровень выходного напряжения усилителя при отсутствии входного сигнала. Рассмотрим это подробнее.

Напряжение V_{P3NPN} устанавливает эмиттерный ток транзисторов Q25, Q5 и ток, протекающий через резистор R11, в соответствии с выражениями:

$$I_{E25} = \frac{V_{P3NPN} - V_{BE25}}{R_{12}}, \quad (8)$$

$$I_{R11} = \frac{V_{P3NPN} - V_{BE24}}{R_{11}}, \quad (9)$$

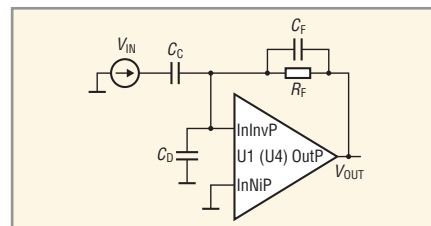


Рис. 10. ЗЧУ на основе предварительного усилителя U1 (U4)

$$I_{E5} \approx I_{E25} \frac{R_1}{R_2}, \quad (10)$$

где I_{E25} , I_{E5} , I_{R11} – эмиттерный ток транзисторов Q25, Q5 и ток, протекающий через резистор R11; V_{BE25} , V_{BE24} – падение напряжения на прямосмещённых эмиттерных переходах транзисторов Q25, Q24; R_{12} , R_{11} , R_1 , R_2 – сопротивления резисторов R12, R11, R1, R2.

Соотношение (10) выполняется в том случае, когда транзисторы Q5, Q6 имеют идентичную конструкцию и параметры, падение напряжения на резисторах R1, R2 ориентировочно превышает 100 мВ и допустимо пренебречь базовыми токами транзисторов [29].

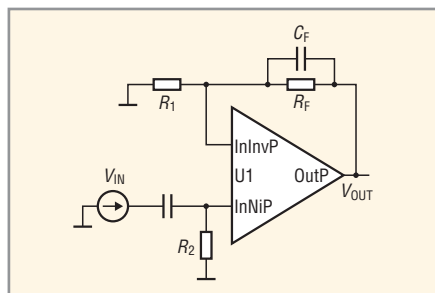


Рис. 11. Неинвертирующий усилитель напряжения на основе U1

Если предварительный усилитель U4A охвачен ООС, то транзисторы Q5 и Q24 находятся в активном режиме работы; их коллекторные токи приблизительно равны и справедливо соотношение:

$$I_{E24} \approx I_{E5}, \quad (11)$$

где I_{E24} – эмиттерный ток транзистора Q24.

Основные параметры аналоговых устройств, выполненных на универсальной микросхеме, при напряжении источников питания $V_{CC} = 5$ В, $V_{EE} = -5$ В

Наименование параметра	Величина
ОУ U1	
Диапазон регулировки входного тока, нА	±40,0
Изменение входного тока при изменении напряжения на выводе VERL, пА/мВ	От 15 до 30
Размах выходного напряжения, В	±4,0
Ток потребления, мА	2,1
Инвертирующий усилитель на U1 при $C_{FINT} \approx 0,9$ пФ	
Скорость нарастания выходного напряжения при $R_F = 100$ кОм, $K_{VY} \approx -1$, В/мкс	20,0
Полоса пропускания в режиме малого сигнала при $R_F = 100$ кОм, $K_{VY} \approx -1$, МГц	5,1
Скорость нарастания выходного напряжения при $R_F = 10$ МОм, $K_{VY} \approx -10$, В/мкс	0,2
Полоса пропускания в режиме малого сигнала при $R_F = 10$ МОм, $K_{VY} \approx -10$, кГц	50,0
ЗЧУ на U1 при $C_{FINT} \approx 0,9$ пФ, $R_F = 10$ МОм	
Длительность переднего фронта при $C_D = 0$, нс	
$Q_{IN} = \pm 0,1$ пКл	70,0/70,0
$Q_{IN} = \pm 1,0$ пКл	90,0/80,0
$Q_{IN} = \pm 3,0$ пКл	160,0/150,0
Длительность переднего фронта при $C_D = 100$ пФ, нс	
$Q_{IN} = \pm 0,1$ пКл	480,0/460,0
$Q_{IN} = \pm 1,0$ пКл	470,0/460,0
$Q_{IN} = \pm 3,0$ пКл	480,0/470,0
Усилитель U4	
Размах выходного напряжения, В	±3,7
Ток потребления, мА	2,7
ЗЧУ на U4 при $C_{FINT} \approx 0,9$ пФ, $R_F = 10$ МОм	
Длительность переднего фронта при $C_D = 0$, нс	
$Q_{IN} = \pm 0,1$ пКл	120,0/130,0
$Q_{IN} = \pm 1,0$ пКл	80,0/160,0
$Q_{IN} = \pm 3,0$ пКл	60,0/250,0
Длительность переднего фронта при $C_D = 100$ пФ, нс	
$Q_{IN} = \pm 0,1$ пКл	770,0/740,0
$Q_{IN} = \pm 1,0$ пКл	710,0/810,0
$Q_{IN} = \pm 3,0$ пКл	650,0/950,0
ЗЧУ на U4 с ТА при $C_{FINT} \approx 0,9$ пФ	
Длительность переднего фронта при $C_D = 0$, $R_F = 100$ кОм, нс	
$Q_{IN} = -0,1$ пКл	160,0
$Q_{IN} = -1,0$ пКл	190,0
$Q_{IN} = -3,0$ пКл	360,0
Длительность переднего фронта при $C_D = 100$ пФ, $R_F = 100$ кОм, нс	
$Q_{IN} = -0,1$ пКл	920,0
$Q_{IN} = -1,0$ пКл	910,0
$Q_{IN} = -3,0$ пКл	1000,0
Постоянная времени ООС ЗЧУ при $Q_{IN} = -1,0$ пКл, мкс	
$R_F = 102$ кОм	8,3
$R_F = 12$ кОм	3,9
$R_F = 2,05$ кОм	3,3

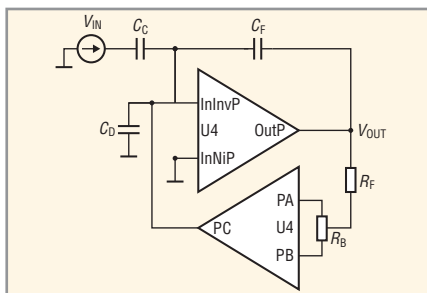


Рис. 12. ЗЧУ на основе предварительного усилителя и токового аттенюатора U4

Равенство коллекторных токов Q5 и Q24 может быть достигнуто и при невыполнении условия (11), но в этом случае один из транзисторов – Q5 или Q24 – должен находиться в режиме насыщения, а выходное напряжение усилителя U4A быть близким к напряжению источников питания VCC3, VEE3, что невозможно, т.к. при отсутствии входного тока действие ООС через резистор RF

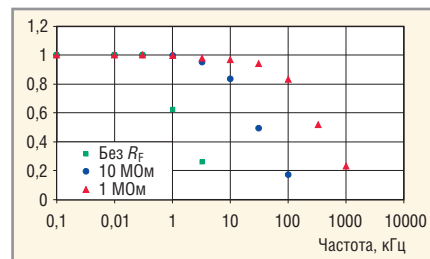


Рис. 13. Нормированная АЧХ ЗЧУ, выполненного на U1, в режиме холостого хода при разном значении RF

поддерживает выходное напряжение равным входному в соответствии с (1).

Таким образом, ток стока р-ПТП Q17 (I_{D17}) и напряжение на его истоке (V_{S17}) составят:

$$I_{D17} \approx I_{R11} - I_{E5}, \quad (12)$$

$$V_{S17} = V_{HD} - V_{BES}, \quad (13)$$

где V_{HD} , V_{BES} – напряжение в узле HD и на прямосмещённом эмиттерном переходе Q8, а выходное напряжение предварительного усилителя при отсутствии входного сигнала составит:

$$V_{OUTDC} = V_{INDC} = V_{S17} + V_{GS17} = V_{HD} - V_{BES} + V_{TO} - \sqrt{\frac{I_{D17}}{BETA}}, \quad (14)$$

где V_{GS17} – напряжение на р–n–переходе затвор-исток Q17, V_{TO} – напряжение отсечки, $BETA$ – коэффициент пропорциональности (удельная крутизна) [30]. Окончательно получим:

$$V_{OUTDC} \approx V_{TO} + V_{HD} - 0,7 \text{ В} - \sqrt{\frac{(V_{P3NPN} - 0,7) \left(1 - \frac{R_{11}}{R_{12}} \frac{R_1}{R_2}\right)}{R_{11} BETA}}. \quad (15)$$

Известно, что для уменьшения уровня шумов каскада с входным ПТП увеличивают его крутизну (g_M), которая пропорциональна отношению ширины затвора (Z) к его длине (L) и току стока [30]:

$$g_M = \frac{dI_D}{dV_{GS}} \approx \sqrt{2I_D BETA}, \quad (16)$$

$$BETA = \frac{4\epsilon\epsilon_0\mu_{CH}Z}{3aL}, \quad (17)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость полупроводника, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, μ_{CH} – подвижность основных носителей заряда в канале, N_{CH} – концентрация ионизированной примеси

в канале, a – половина толщины токопроводящей части канала при отсутствии внешнего напряжения.

Увеличение тока стока ПТП приводит к значительному увеличению потребляемой мощности, поэтому одной из главных задач при проектировании маломощных усилителей является минимизация тока потребления во всех цепях и поиск компромисса между уровнем шума, быстродействием и потребляемой мощностью [31].

При схемотехническом моделировании и параметрической оптимизации усилителя U4A были учтены следующие противоречивые факторы [23]:

- для уменьшения уровня шума целесообразно увеличивать сопротивление резисторов в эмиттерных цепях, крутизну Q17, отношение тока стока ПТП Q17 к коллекторному току транзистора с общей базой Q24; устанавливать потенциал истока Q17 с помощью n–p–n-транзистора Q8 с малым сопротивлением базы; обеспечивать низкий импеданс по переменному сигналу узлов схемы (P3np, HD на рис. 6), задающих рабочий режим, например, соединением этих узлов с конденсаторами;
- для увеличения коэффициента усиления с разомкнутой ООС рекомендуется увеличение коллекторного тока транзистора с общей базой и крутизны входного ПТП.

Обычно к уменьшению уровня шумов ЗЧУ приводит увеличение сопротивления резистора R_F [23]. Однако формирование высокоомных резисторов в интегральном исполнении затруднено из-за необходимости усложнения технологического маршрута изготовления ИС для введения воспроизводимых слоёв с высоким удельным сопротивлением (полупроводниковых, поликремниевых, тонкоплёночных) либо из-за большой занимаемой площади и, следовательно, большой паразитной ёмкости высокоомного резистора, выполненного на типовом полупроводниковом слое.

Предложено [32, 33] реализовать функции высокоомного резистора с помощью преобразования напряжение–ток и использования ТА. Подобное схемотехническое решение применено в разработанной ИС, для чего в её состав введены два ТА. Каждый аттенуатор содержит последовательно соединённые каскадные токовые зеркала с отдельными входами (вывод P3A, P3B и P4A, P4B на рис. 3). Выходы

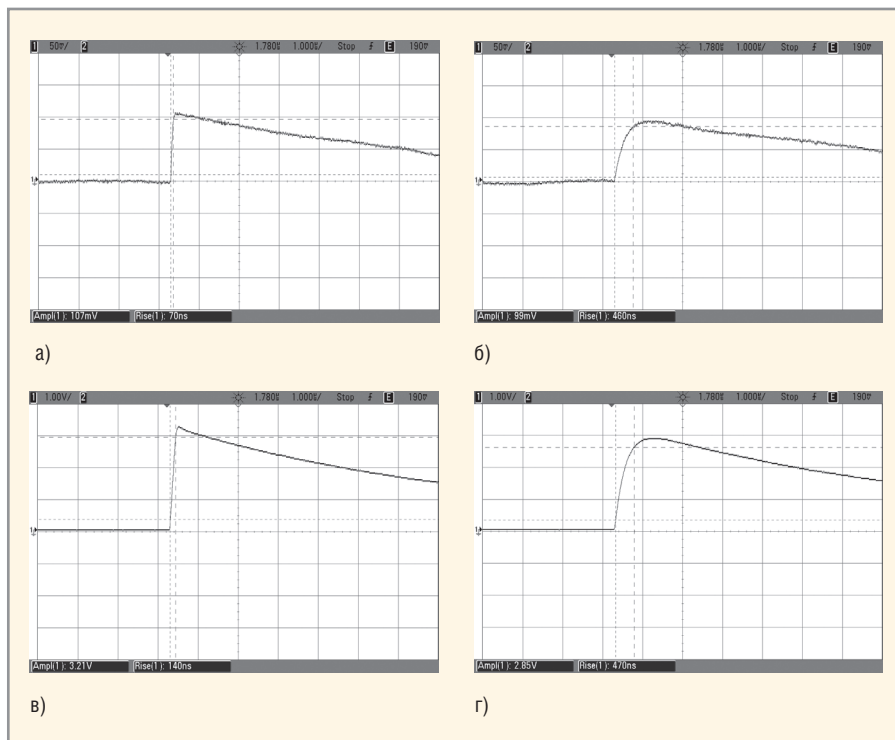


Рис. 14. Выходной сигнал ЗЧУ U1A (см. рис. 10) при $C_F = 0$, $R_F = 10$ МОм, $Q_{IN} = -100$ фКл (а, б) и $Q_{IN} = -3$ пКл (в, г), $C_D = 0$ (а, в) и $C_D = 100$ пФ (б, г)
 Масштаб по горизонтали 1 мкс/дел.; масштаб по вертикали: 50 мВ/дел. (а, б) и 1 В/дел. (в, г)

токовых зеркал соединены между собой и с выводом P3C (P4C) микросхемы. Коэффициент ослабления тока ($K_I = I_{OUT}/I_{IN}$) каждого «токового зеркала» (Q1, Q2, Q9, Q10, Q15) приблизительно определяется отношением эмиттерных резисторов (R_3/R_4) [29] и составляет $K_I \approx 1/130$.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВЫХ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ

Несмотря на то что разработанная ИС состоит из усилителей, наименования параметров которых и методики измерений известны [34], при экспериментальных исследованиях универсальной аналоговой микросхемы изучались АЧХ ИУ (см. рис. 7), зависимость входных токов предварительного усилителя U1 от напряжения на выводе VERL при балансировке ОУ с помощью потенциометра 33 кОм (см. рис. 8), а также параметры типовых схем, необходимых в датчиковой аппаратуре, а именно:

- ТРУ на основе U1, показанного на рисунке 9, на котором источник напряжения V_{IN} и резистор R_S моделируют ток ($I_{IN} = V_{IN}/R_S$) источника входного сигнала;
- ЗЧУ на основе усилителей U1, U4 (источник напряжения V_{IN} и калибровочный конденсатор C_C на рисунке 10 моделируют заряд ($Q_{IN} = V_{IN}C_C$) источника входного сигнала);

- неинвертирующего усилителя напряжения на основе U1 (на рисунке 11 элементы R_1 , R_F , C_F образуют ООС, V_{IN} – источник входного напряжения, R_2 – резистор, устанавливающий уровень постоянного напряжения на входе $InNi$ при отсутствии сигнала);
- ЗЧУ на основе предварительного усилителя и токового аттенуатора U4 (на рисунке 12 резистор R_F и ТА с входами PA, PB и выходом PC образуют «активный резистор» ООС, R_B – резистор для балансировки ТА, позволяющий установить требуемое значение постоянного выходного напряжения ЗЧУ при отсутствии входного сигнала).

Измерения осуществлялись с помощью контрольно-измерительного комплекса УНИИРО (осциллограф В-423, генератор сигналов произвольной формы В-332 и аналого-цифровой порт В-381 [35]) и осциллографа Agilent MSO6052A. Более подробная информация о рекомендуемой схеме включения универсальной аналоговой микросхемы приведена в [36].

При исследованиях типовых схем, показанных на рисунках 9–12, особое внимание уделялось выявлению области значений частоты входного сигнала, параметров элементов цепей ООС, диапазона входного напряжения, при котором коэффициенты преобразова-

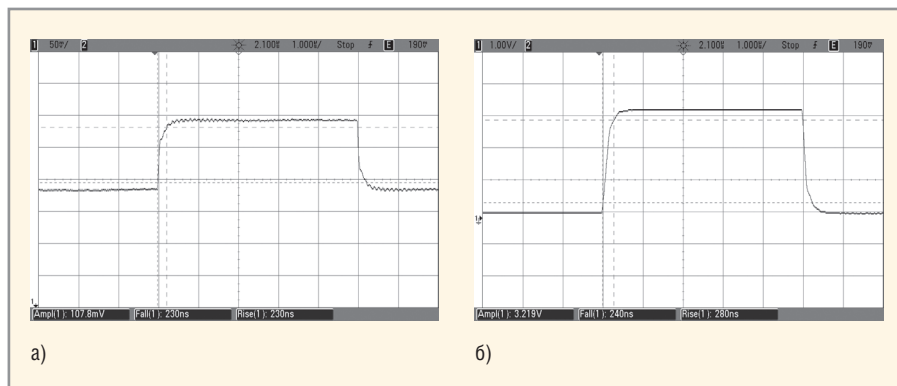


Рис. 15. Выходной сигнал неинвертирующего усилителя напряжения (см. рис. 11) при $K_{VV} \approx 10$, $C_F = 0$ и прямоугольном импульсе напряжения на входе а) $V_{IN} = 10$ мВ и б) $V_{IN} = 300$ мВ
Масштаб по горизонтали 1 мкс/дел.; масштаб по вертикали: а) 50 мВ/дел. и б) 1 В/дел.

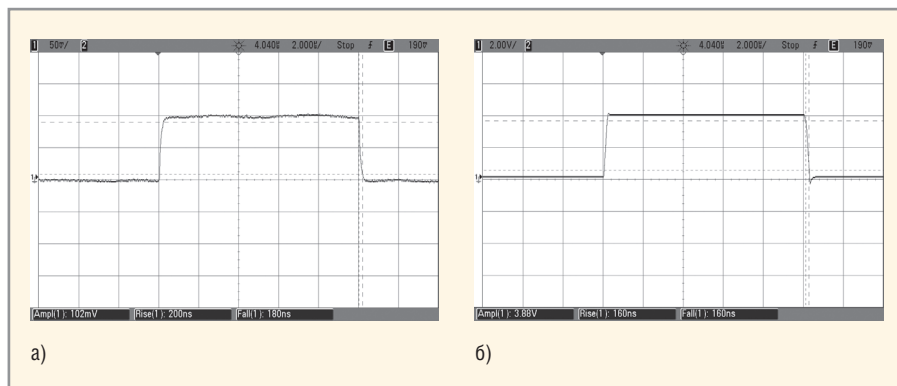


Рис. 16. Сигнал на выходе ТРУ U1A (см. рис. 9) при $C_F = C_D = 0$, $R_F = 100$ кОм, $R_S = 100$ кОм и токовом сигнале прямоугольной формы на входе а) $I_{IN} = -1$ мкА и б) $I_{IN} = -50$ мкА
Масштаб по горизонтали 2 мкс/дел.; масштаб по вертикали: а) 50 мВ/дел. и б) 2 В/дел.

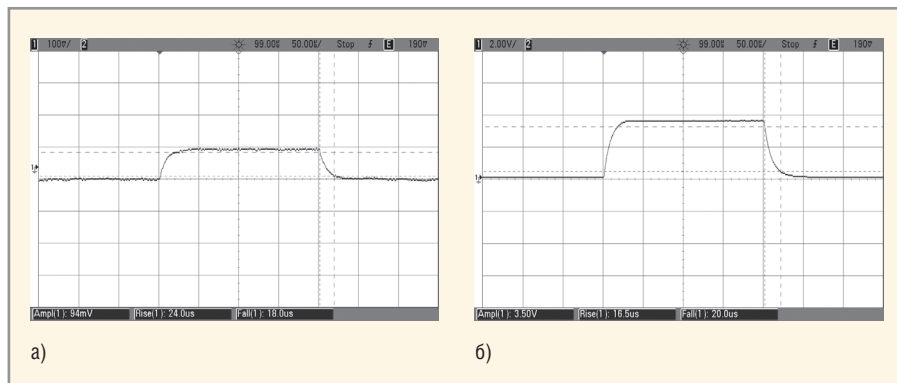


Рис. 17. Сигнал на выходе ТРУ U1A (см. рис. 9) при $C_F = C_D = 0$, $R_F = 10$ МОм, $R_S = 1$ МОм и токовом сигнале прямоугольной формы на входе а) $I_{IN} = -10$ нА, б) $I_{IN} = -400$ мкА
Масштаб по горизонтали 2 мкс/дел.; масштаб по вертикали: а) 100 мВ/дел. и б) 2 В/дел.

ния определяются только параметрами элементов ООС, а именно:

$$\begin{aligned} K_{VV} &= 1 + R_F/R_1 \text{ для рисунка 11,} \\ K_{QV} &= -1/C_F \text{ для ЗЧУ,} \\ K_{IV} &= -R_F \text{ для ТРУ,} \end{aligned} \quad (18)$$

где K_{VV} – коэффициент усиления неинвертирующего усилителя напряжения.

В качестве входного сигнала ТРУ и неинвертирующих повторителей напряжения использовался синусоидальный сигнал разной частоты, а для

ЗЧУ – короткий токовый импульс, получаемый при прохождении ступеньки напряжения V_{IN} через калибровочный конденсатор C_C .

Было установлено, что:

- при напряжении источников питания $V_{CC} = 5$ В, $V_{EE} = -5$ В соотношения (18) выполняются в диапазоне выходного сигнала усилителей U1, U4 от -3 до 3 В. При большем выходном сигнале коэффициент преобразования уменьшается;
- величина конденсатора C_{FS} значительно изменяет полосу пропуска-

ния неинвертирующего усилителя напряжения, что позволяет применять схему, приведённую на рис. 11, одновременно в качестве усилителя и ФНЧ. Так, при $R_F = 100$ кОм, $R_2 = 10$ МОм, $K_{VV} \approx 10$ В/В полоса пропускания составляет $f \approx 1,5$ МГц при $C_F = 0$ и $f \approx 130$ кГц при $C_F = 10$ пФ;

- плавная регулировка входного тока усилителя U1 даёт возможность значительно увеличить коэффициент преобразования ТРУ за счёт увеличения R_F . Более того, возможно обеспечение стабильного рабочего режима ТРУ даже при отсутствии R_F ;
- применение токового аттенуатора позволило увеличить эквивалентное сопротивление резистора обратной связи в 90...1800 раз. Наивысшее значение было достигнуто при $R_F \approx 2$ кОм, когда транзисторы токовых зеркал работают при относительно большом коллекторном токе и достаточном коэффициенте усиления тока. Оптимизация коэффициента ослабления токовых зеркал аттенуатора и сопротивления R_F требует дальнейшего исследования;
- при реализации ТРУ на усилителе U1 необходимо учитывать уменьшение полосы пропускания при увеличении сопротивления R_F (см. рис. 13). Основные характеристики аналоговых устройств, реализованных на разработанной микросхеме, приведены в таблице и на рисунках 14-17, которые иллюстрируют как форму выходного сигнала, так и его параметры (амплитуду, длительность фронтов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ


На базовом матричном кристалле АБМК_1_3 создана универсальная аналоговая микросхема, которая за счёт подключения внешних элементов отрицательной обратной связи позволяет реализовать необходимые для датчиков космической аппаратуры аналоговые устройства: зарядочувствительные, трансрезистивные, неинвертирующие, инструментальные усилители с различными коэффициентами преобразования и полосой пропускания. Псевдодифференциальная структура микросхемы уменьшает радиационное и температурное изменение основных параметров (коэффициентов преобразования и усиления, постоянного выходного напряжения, максимального размаха выходного сигнала) при поглощённой дозе гамма-излуче-

ния до 100 кРад, воздействию потока нейтронов до 10^{13} см⁻² и в температурном диапазоне от -60 до 125°C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урличич Ю. и др. Отбраковка контрафактной электронной компонентной базы в космическом производстве. Аэрокосмический курьер. 2007. № 1. С. 76–77.
2. Жаднов В., Полесский С., Якубов С. Прогнозирование безотказности микросхем для военной и аэрокосмической электроники. Электронные компоненты. 2007. № 3. С. 39–48.
3. Хартов В. Космические проблемы электроники: Перед употреблением – взболтать. Электроника: НТБ. 2007. № 7. С. 22–25.
4. Галеев А., Малкин С., Семёнов В. Отбор электронных изделий для аппаратуры, работающей в космосе. Электроника: НТБ. 2009. № 1. С. 42–44.
5. Басаев А.С., Гришин В.Ю. Космическое приборостроение: главное – правильная концепция. Электроника: НТБ. 2009. № 8. С. 4–10.
6. Бумагин А. и др. Специализированные СБИС для космических применений: проблемы разработки и производства. Электроника: НТБ. 2010. № 1.
7. Стещенко В. Разработка и производство специализированной ЭКБ для космических применений: текущее состояние и перспективы развития. Часть 1. Компоненты и технологии. 2010. № 11. С. 87–92; Часть 2. Компоненты и технологии. 2010. № 12. С. 122–128.
8. <http://www.mes-conference.ru/repSpec1.php#plena1>.
9. Блинов А. и др. Датчики нового поколения для вооружений и военной техники. Электроника: НТБ. 2003. № 2. С. 50–53.
10. Мокров Е.А. Проблемы и перспективы развития датчиковой аппаратуры. Микро-системная техника. 2003. № 9. С. 11–17.
11. Мокров Е. Состояние, проблемы и пути развития датчикоостроения на 2006-

- 2015 гг. Электронные компоненты. 2007. № 3. С. 64–71.
12. Программируемая аналоговая логика бросает вызов методам макетирования. Электроника: НТБ. 2004. № 4. С. 32–33.
13. Полищук А. Программируемые аналоговые ИС компании Anadigm. Второе дыхание аналоговой обработки сигналов. Электроника: НТБ. 2005. № 3. С. 24–29.
14. Килочек Д. Проектирование на программируемых системах на кристалле PSoC Cypress. Компоненты и технологии. 2006. № 8. С. 162–167.
15. Картов С. Flash-семейства ПЛИС «Актел». Компоненты и технологии. 2007. № 11. С. 56–62.
16. Максимов А., Картов С. Процесс разработки и отладки проекта под семейство ПЛИС Smart Fusion. Компоненты и технологии. 2010. № 12. С. 60–63.
17. http://www.niis.nnov.ru/about/industry-base/cmop_design.phtml.
18. Дворников О.В., Чеховский В.А. Аналоговый биполярно-полевой базовый матричный кристалл с расширенными функциональными возможностями. Chip News. 1999. № 2. С. 21–24.
19. Бухтеев А., Немудров В. Системы на кристалле. Новые тенденции. Электроника: НТБ. 2004. № 3. С. 52–55.
20. Виглеб Г. Датчики. Мир, 1989.
21. Фрайден Дж. Современные датчики. Техносфера, 2005.
22. <http://www.globaltest.ru/files/catalog.zip>.
23. Абрамов И.И., Дворников О.В. Проектирование аналоговых микросхем для прецизионных измерительных систем. Минск, 2006.
24. Акимов Ю.К. и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. Энергоатомиздат, 1989.
25. Дворников О.В. Счетверённый микро-мощный ОУ на биполярном БМК. Chip News. 2001. № 7. С. 50–52.
26. Дворников О.В. Комплексный подход к

- проектированию радиационно-стойких аналоговых микросхем. Часть 2. Базовые схемотехнические решения АБМК 1-3. Сб. тр. ИППМ РАН. 2010. С. 283–288.
27. <http://www.mes-conference.ru/data/year2010/analyt/Dvornikov.ppt>.
28. Ngo T., Hester R. Op Amp combining precision, high-speed, and high output current drive for ±5V power supply operation. IEEE J. of Solid-State Circuits. 1990. Vol. 25. No. 3. PP. 856–862.
29. Дворников О.В. Схемотехника биполярно-полевых аналоговых микросхем. Часть 2. Высокоточные повторители тока. Chip News. 2004. № 10. С. 40–45.
30. Дворников О., Шульгевич Ю. Методы идентификации параметров моделей интегральных транзисторов: Часть 4: Идентификация параметров модели Шихмана-Ходжеса полевого транзистора с p-n-переходом. Современная электроника. 2009. № 8. С. 50–57.
31. Дворников О.В., Чеховский В.А. Применение биполярного БМК для проектирования аналоговых ИС. Часть 1: Микро-мощные малошумящие зарядочувствительные усилители. Chip News. 1999. № 5. С. 17–20.
32. Santiard J.C. et al. Gasplex. A low-noise analog signal processor for readout of gaseous detectors. CERN-ESP/94–17.
33. Chase R.L., Hrisobo A., Richer J.-P. 8-channel CMOS preamplifier and shaper with adjustable peaking time and automatic pole-zero cancellation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1998. Vol. A409. PP. 328–331.
34. Полонников Д.Е. Операционные усилители: Принципы построения, теория, схемотехника. Энергоатомиздат, 1983.
35. <http://www.bsuproduct.by/index.php/.21.774...0.0.0.html> (Приложение к статье «Универсальная аналоговая микросхема для датчиков космической аппаратуры») 



Электронная Компания ЗИП
электронные компоненты
свыше 50000 наименований на складе

Тел: +7(495)740-49-80, факс: +7(495)720-51-02, e-mail: info@zip-2002.ru, www.zip-2002.ru

Реклама

Приложения для цифровой обработки сигналов в ПЛИС

Владимир Вычужанин (Одесса, Украина)

Реализация сложных алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС) может быть успешно осуществлена в ПЛИС с архитектурой FPGA.

Использование для этих целей 64-битной каскадной шины и сумматора-накопителя в новой ПЛИС Stratix V позволяет поддерживать несколько уровней точности блока ЦОС.

Цифровая обработка сигналов (ЦОС, DSP) является одной из самых мощных технологий, которая активно используется в устройствах связи, метеорологи, радиолокации и гидролокации, медицинской визуализации изображений, цифровом звуковом и телевизионном вещании, сейсморазведке и многих других. Применение методов ЦОС позволяет обеспечить высокую помехоустойчивость систем обработки данных, необходимую точность и разрешающую способ-

ность, простое сопряжение подсистем обработки сигналов, стабильность параметров тракта обработки информации и ряд других преимуществ.

В современных высокопроизводительных системах ЦОС часто используют программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), а для реализации сложных алгоритмов ЦОС применяют ПЛИС с архитектурой FPGA. Такому подходу способствует развитие технологии программируе-

мой логики, сопровождаемое расширением номенклатуры ПЛИС и появлением возможностей реализации новых классов алгоритмов, предъявляющих различные требования к точности ЦОС.

В различных приложениях ЦОС (радиолокационные системы с высоким разрешением; беспроводные станции связи с многочисленными входами и выходами; медицинские томографы) часто необходима точность обработки выше, чем обычный диапазон в 18 бит. Требования к точности варьируются на стадиях проектирования фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ), при реализации быстрого преобразования Фурье (БПФ), в адаптивных алгоритмах фильтрации и др. Во многих ПЛИС используется DSP-архитектура фиксированной точности 18×18 или 18×25 , что недостаточно для КИХ-фильтров, а также при реализации БПФ. Поэтому для поддержания более точного режима ЦОС применяются энергоёмкие решения, такие как использование DSP-блока 18×25 для реализации операции 9×9 или каскадное включение нескольких блоков DSP низкой точности.

В 2010 г. фирма Altera представила новые ПЛИС семейства Stratix пятого поколения архитектуры FPGA, спроектированные по 28-нм техпроцессу TSMC. В целях повышения точности обработки цифровых сигналов фирма разработала DSP-блок переменной точности с 64-битной каскадной шиной, интегрированный в ПЛИС Stratix V. Основными достоинствами нового семейства являются более высокая производительность, большой логический объём и малое энергопотребление. Кроме того, преимуществами ПЛИС Stratix V является наличие 64-разрядного сумматора-накопителя, каскада сумматоров для реализации систолических КИХ-фильтров, возможности увеличения числа независимых операций умножения, поддержки операций с плавающей точкой удвоенной точности.

ПЛИС Stratix V поддерживают интерфейс внешней памяти DDR3 SDRAM с

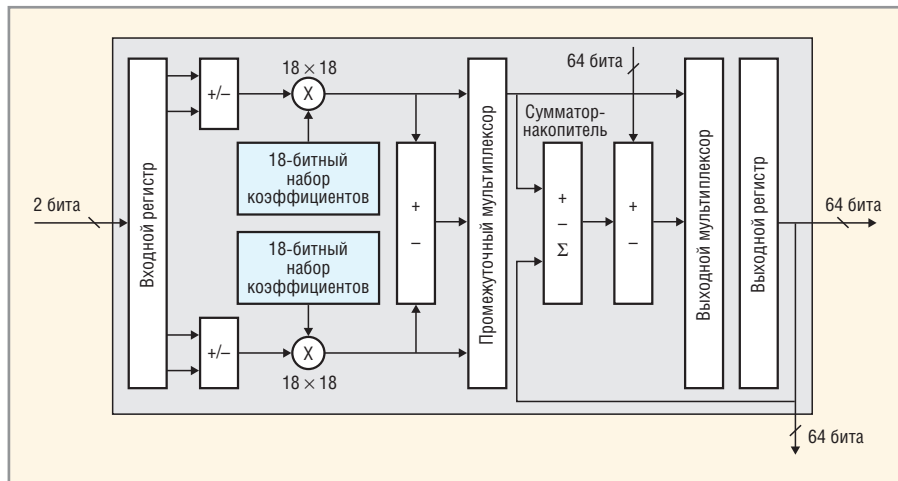


Рис. 1. Структурная схема DSP-блока ПЛИС Stratix V в режиме работы с 18-битной точностью

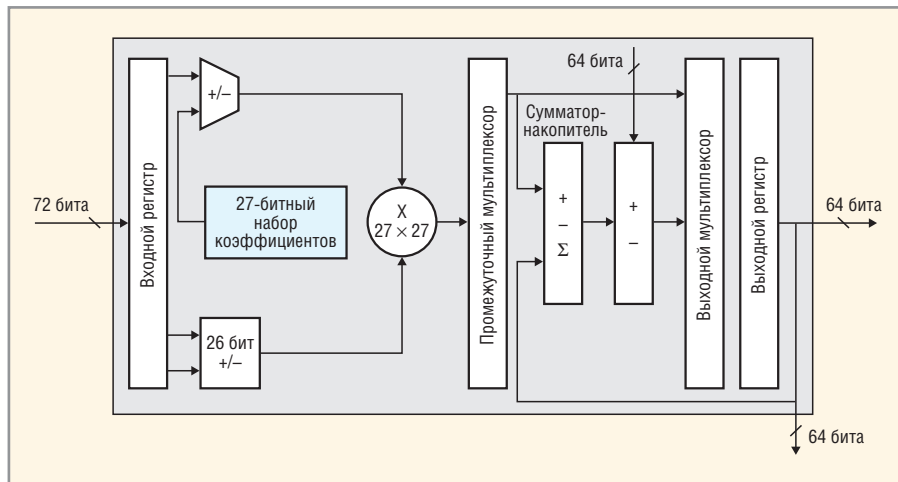


Рис. 2. Структурная схема DSP-блока ПЛИС Stratix V в высокоточном режиме работы

тактовой частотой до 800 МГц. Среди преимуществ новых микросхем следует отметить наличие встроенных систем дробной ФАПЧ и блоков Embedded Hardcopy (встроенного копирования).

Микросхемы Stratix V содержат до 1,1 млн. логических элементов, 53 Мбит встроенной памяти и 3680 умножителей 18 × 18. Без увеличения энергопотребления и стоимости они предоставляют разработчикам в два раза больше логических ресурсов по сравнению с микросхемами предыдущих семейств. Используемая технология позволяет увеличить быстродействие Stratix V почти на 35%, снизив потребляемую мощность на 30% по сравнению с четвертым поколением Stratix. Приёмопередатчики, работающие на скоростях 28 Гбит/с, потребляют всего 200 мВт на канал.

В семейство ПЛИС Stratix V вошли модели Stratix V GT, Stratix V GX, Stratix V GS и Stratix V E. Они охватывают широкий круг приложений для проводных и беспроводных сетей, военной техники, медицинского оборудо-

Точность режимов, поддерживаемых DSP-блоком

Точность режима	Применение
3 независимых режима 9 × 9	Низкая точность при фиксированной точке
2 режима суммирования 18 × 18	Средняя точность при фиксированной точке
2 независимых режима 18 × 18 с разрешением 32 бита	Средняя точность при фиксированной точке
1 независимый режим 18 × 25 или 18 × 36	Высокая точность при фиксированной точке
1 независимый режим 27 × 27	Высокая точность при фиксированной точке или одинарная точность при плавающей точке

ования и систем хранения данных. ПЛИС Stratix V GT оптимизированы для решения высокоскоростных задач (40G/100G/400G) и содержат встроенные трансиверы с максимальной скоростью передачи данных 28 Гбит/с. ПЛИС Stratix V GX и Stratix V GS содержат встроенные трансиверы с максимальной скоростью передачи данных 12,5 Гбит/с. Stratix V GS оптимизированы для решения задач цифровой обработки сигналов с переменной точностью; Stratix V E оптимизированы для прототипирования заказных микросхем (ASIC). Поддержка ПЛИС семейства Stratix V GX и

Stratix V GS обеспечивается САПР Quartus II v.10.0.

В блоке ЦОС накопитель является неотъемлемой частью многих операций, позволяющих обеспечить высокую точность вычислений. В ПЛИС Stratix V используются 64-разрядные накопители с возможностью округления конечного результата.

Конфигурацию каждого блока ЦОС переменной точности можно настроить с помощью двойного умножителя 18 × 18 бит (см. рис. 1) или высокоточного 27 × 27-разрядного умножителя (см. рис. 2). Блок ЦОС выполняет различные операции умножения для каж-



Мощные светодиоды CREE

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ:

- Уличное освещение
- Промышленное освещение
- Общее освещение
- Освещение витрин, рекламных щитов
- Архитектурное и ландшафтное освещение
- Аварийное освещение
- Автономные системы освещения
- Мощные прожекторы и фонари
- Переносные осветительные приборы

Светодиоды CREE были успешно применены при создании архитектурного освещения олимпийского стадиона «Птичье гнездо» в Пекине

СЕРИИ:

- XR-E/XR-C 
- XP-E/XP-C 
- XP-G/XM-L 
- MX-6/MX-3 
- MC-E 



Cree Solution Provider

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (495) 232-25-22 • www.prochip.ru • Эл. почта: info@prochip.ru

Реклама

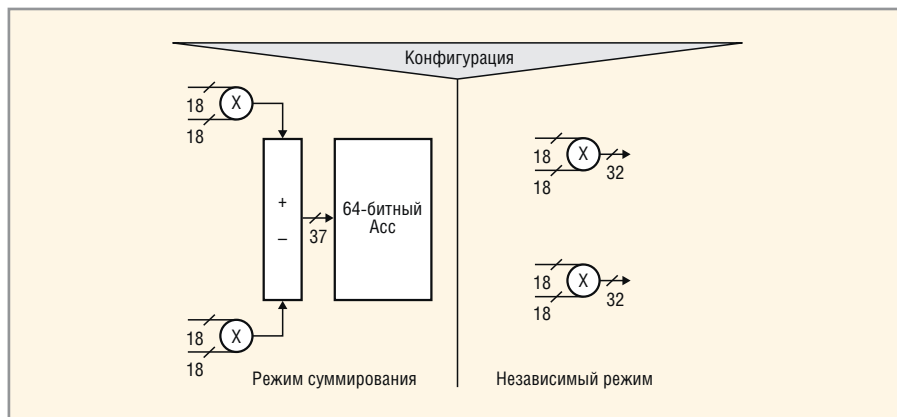


Рис. 3. Конфигурации DSP-блока для режима суммирования и независимого режима

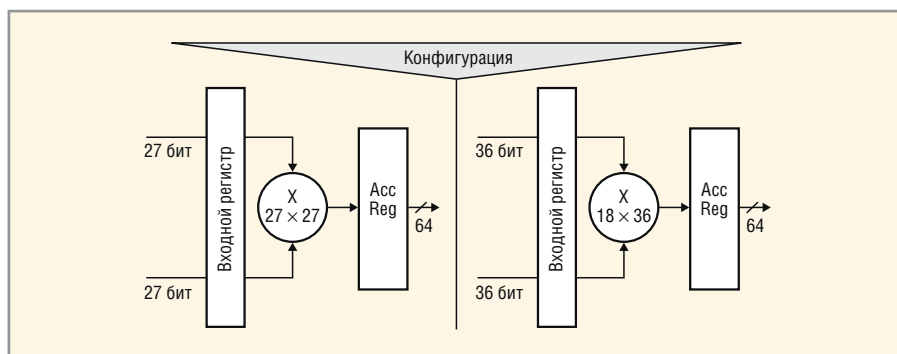


Рис. 4. Конфигурации DSP-блока для режима работы с высокой точностью

дого режима с точностью, указанной в таблице.

В режиме 18-битной точности DSP-блок может быть настроен на

поддержку двойного умножения (см. рис. 1) или в автономном (независимом) режиме на одинарное умножение, как показано на рисунке 3,

при этом выходное разрешение не превышает 32 бит. В режиме высокой точности следует настраивать каждый DSP-блок переменной точности для реализации умножителя 27×27 или 18×36 , как показано на рисунке 4.

Для расширения и поддержки необходимого диапазона точности каждый DSP-блок ПЛИС Stratix V соединяется каскадно посредством 64-битной каскадной шины с другими аналогичными блоками. Использование подобного соединения при реализации трёх независимых умножителей 18×18 в случае применения DSP-блоков фиксированной точности требует четырёх таких блоков, а при использовании DSP-блоков необходимо всего два блока с полным разрешением 36 бит (см. рис. 5).

Новые решения, использованные в ПЛИС Stratix V, позволяют реализовать оптимизированные структуры высокопроизводительных КИХ-фильтров и БПФ. Разрабатываемые устройства ЦОС с блоками переменной точности становятся в два-три раза эффективнее в сравнении с устройствами ЦОС, выполненными, например, на DSP-блоках с фиксированной точностью 18×25 .

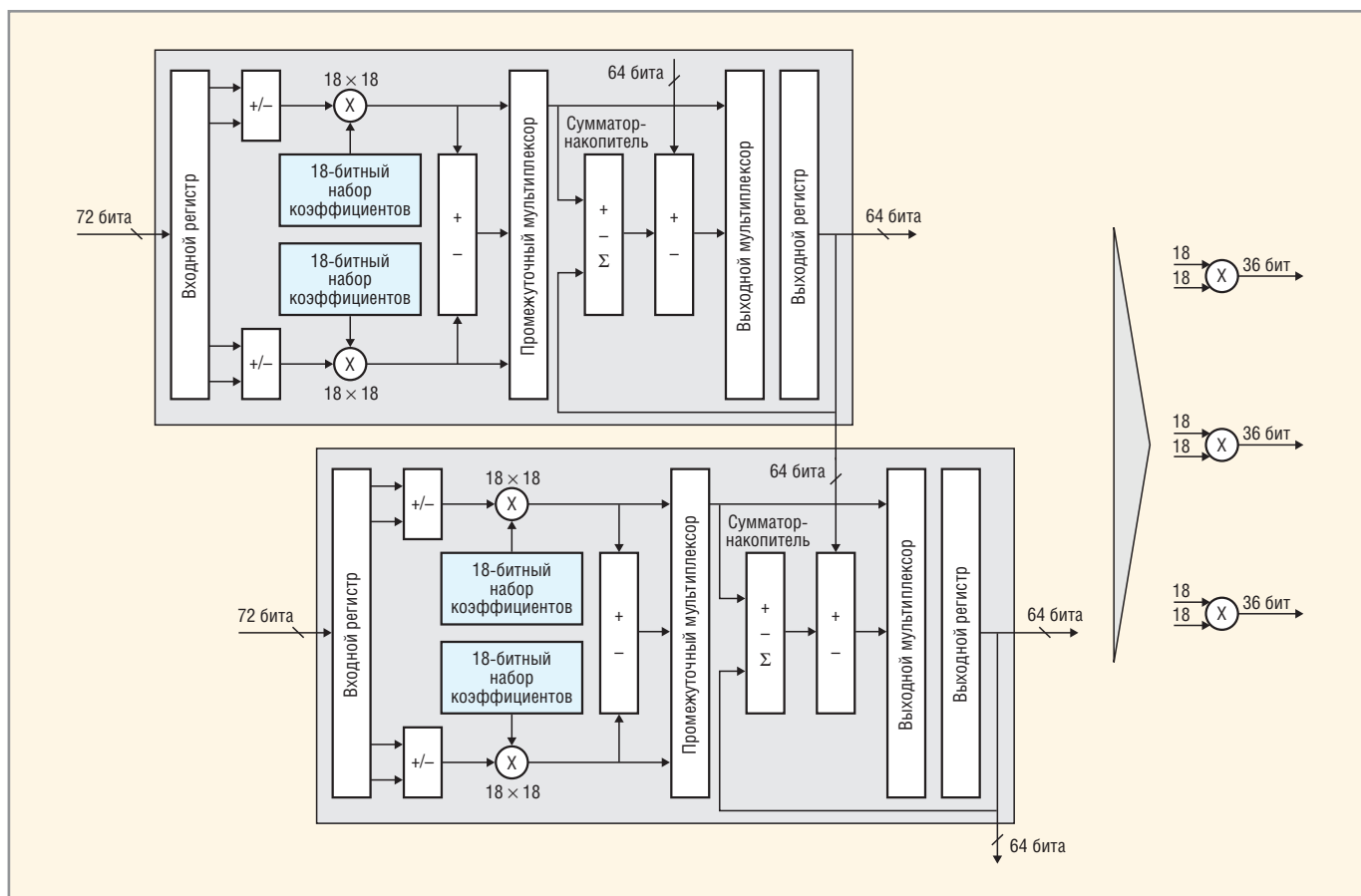


Рис. 5. Каскадное соединение двух блоков DSP переменной точности

Реализуемый с помощью DSP-блоков переменной точности КИХ-фильтр относится к нерекурсивным фильтрам. Аналитическое описание такого фильтра имеет следующий вид:

$$y(n) = c_0x(n) + c_1x(n - 1) + \dots + c_px(n - p),$$

где p – порядок фильтра; $x(n)$ – входной сигнал; $y(n)$ – выходной сигнал; c_i – коэффициенты фильтра.

На рисунке 6 показана реализованная в DSP-блоках переменной точности ПЛИС Stratix V структурная схема КИХ-фильтра, состоящая из умножителей, элементов задержки (регистров) и сумматоров. В ней предусмотрены следующие возможности оптимизации (см. рис. 7):

- встроенные предварительные сумматоры могут быть использованы при реализации симметричного фильтра, что позволяет уменьшить число умножителей в два раза;
- регистры используются для хранения коэффициентов фильтра c_i внут-

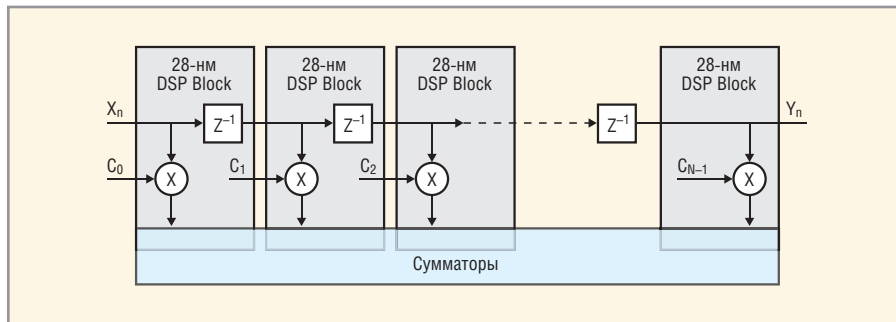


Рис. 6. Прямая форма КИХ-фильтра, реализованная с использованием DSP-блока ПЛИС Stratix V

ри DSP-блока, что позволяет экономить количество регистров и объём памяти и увеличить тактовую частоту фильтра;

- два уровня сумматоров в одном блоке позволяют строить КИХ-фильтры прямой формы;
- регистры на выходе DSP-блока позволяют реализовать каскад систолического КИХ-фильтра.

В DSP-блоке переменной точности функции предварительного сумматора жёстко фиксированы. При этом как предварительный сумматор, так и умножитель являются частью сумматора DSP-блока, а эле-

менты задержки реализованы с использованием регистров за пределами DSP-блока. Предварительные сумматоры в основном используются для построения симметричных КИХ-фильтров. Такая структура сумматора в DSP-блоке переменной точности при реализации симметричных КИХ-фильтров прямой формы позволяет в два раза уменьшить число умножителей, если предварительно использовать две выборки данных с умножением на общий коэффициент.

В симметричных КИХ-фильтрах операции на двух умножителях можно

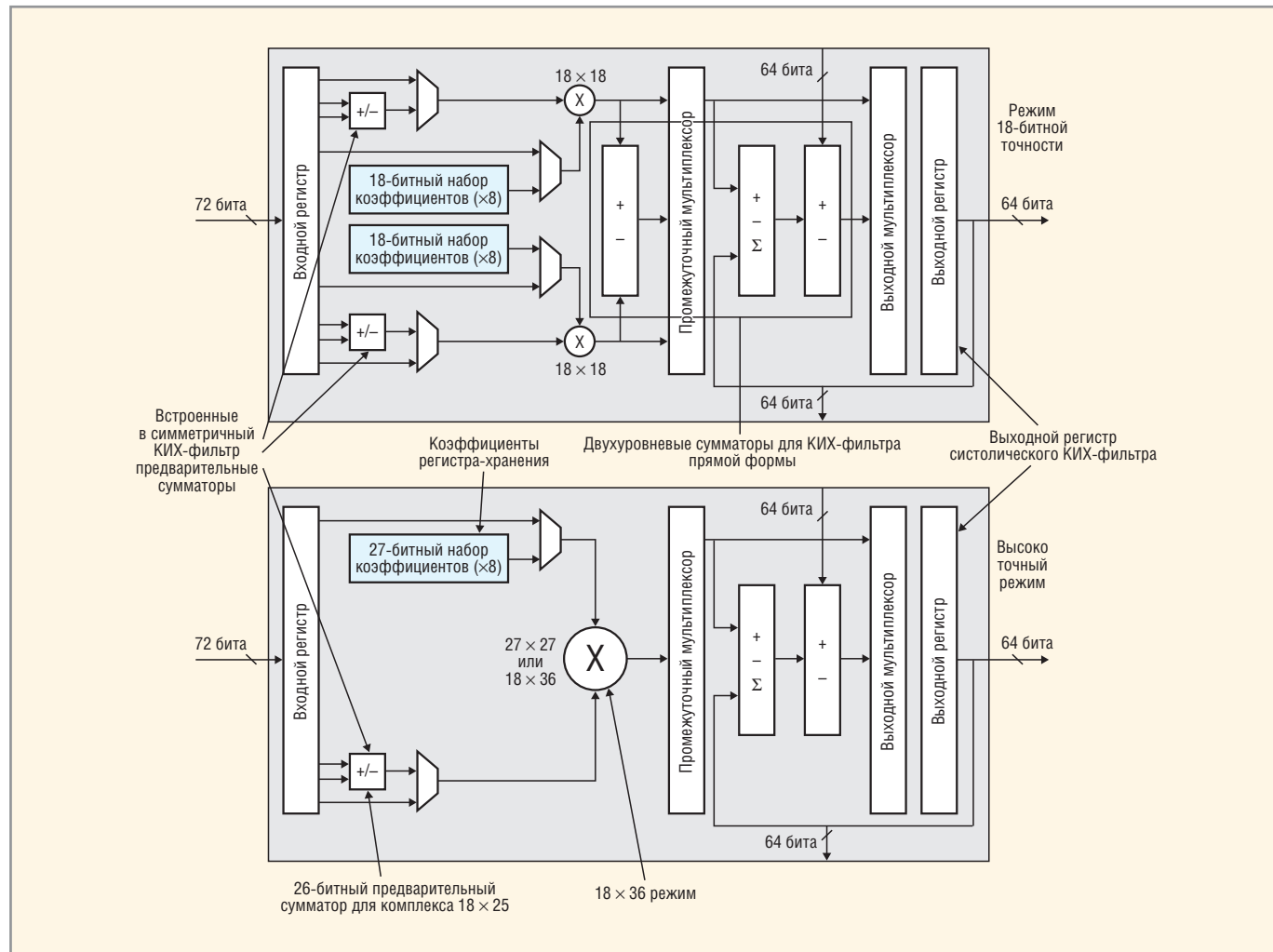


Рис. 7. Реализация КИХ-фильтра в DSP-блоке ПЛИС Stratix V

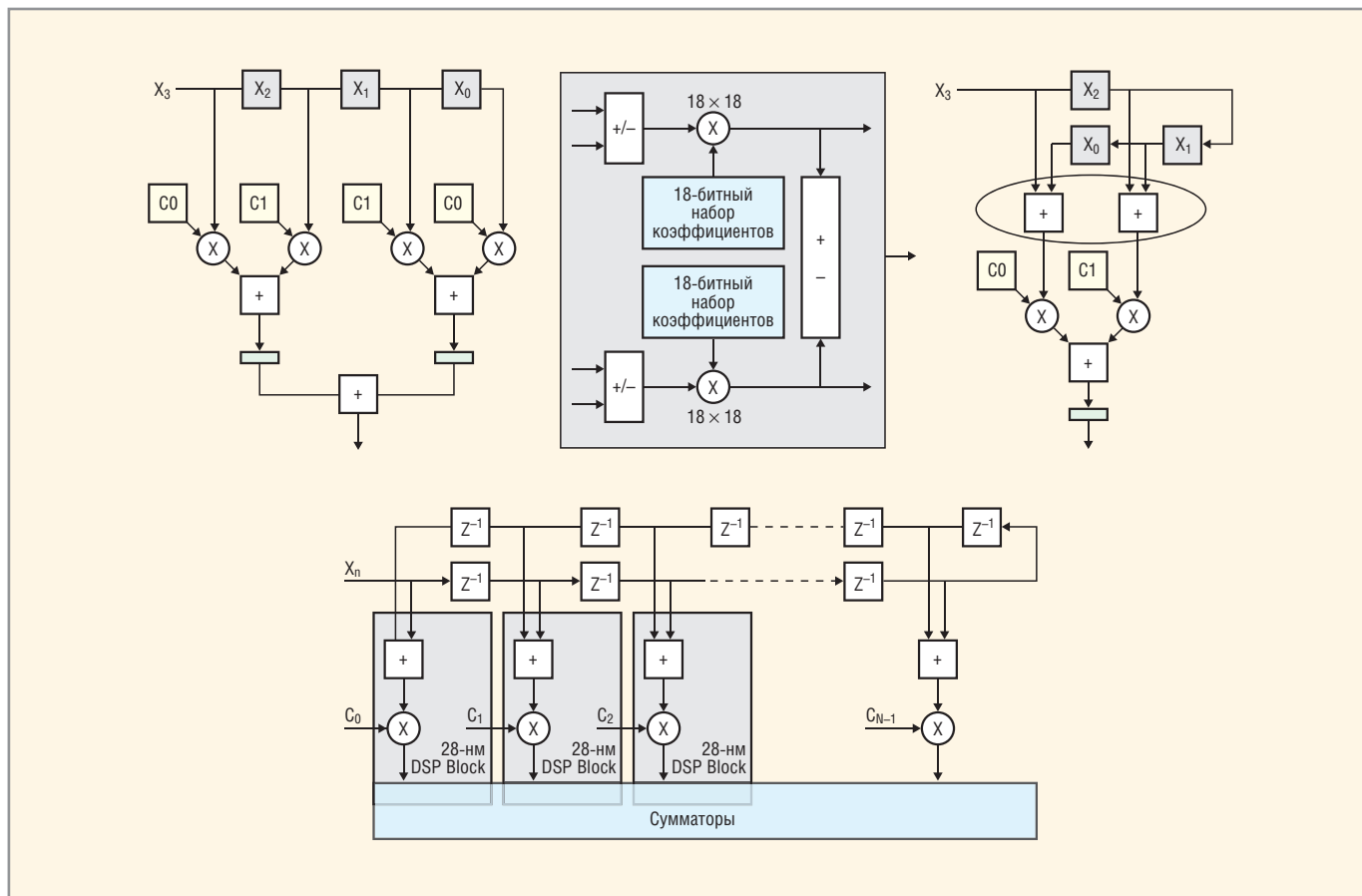


Рис. 8. Реализация симметричных КИХ-фильтров прямой формы в DSP-блоке ПЛИС Stratix V

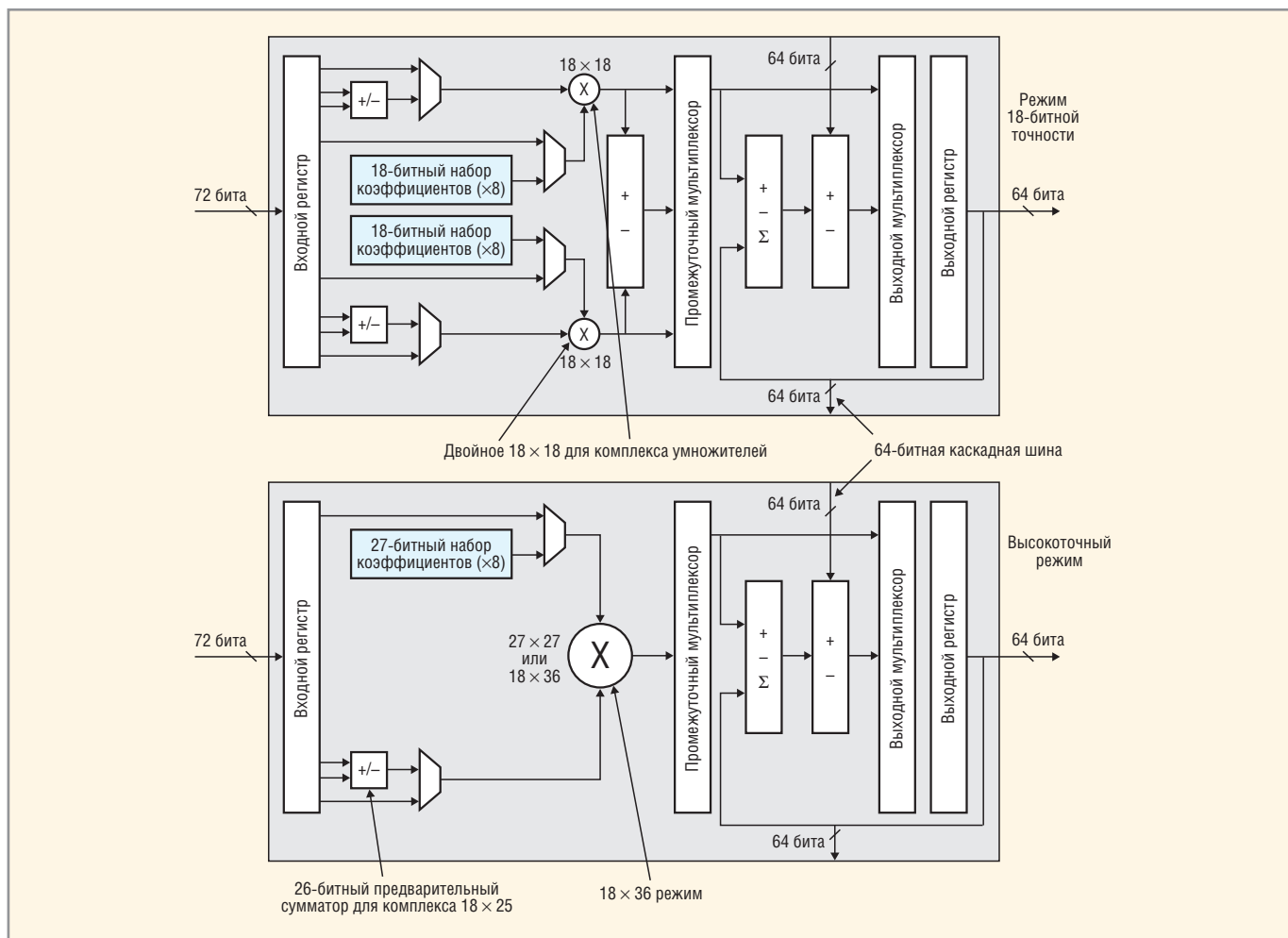


Рис. 9. Оптимальная структура БПФ в DSP-блоке переменной точности

заменить операцией, выполняемой на одном умножителе и одном сумматоре, как показано на рисунке 8. Точность выбранного режима определяется тем, будет ли использоваться двойной 18-битный или один 26-битный предварительный сумматор. Последний может быть настроен для вычитания, поэтому DSP-блок применяется и для выполнения суммирования квадратов разностей.

Алгоритм дискретного БПФ в DSP-блоке переменной точности реализуется с использованием комплекса умножителей. Причём DSP-блок, оптимально поддерживая алгоритм БПФ, реализует его в несколько этапов, обеспечивая тем самым более широкий динамический диапазон и низкий уровень шума. Особенности структуры БПФ в DSP-блоке переменной точности показаны на рисунке 9. При реализации алгоритма БПФ предъявляются повышенные требования к точности DSP-блока только в части умножителя.

Для приложений высокой точности, в частности БПФ с плавающей точкой, при использовании комплекса

умножителей 27×27 , необходим каскад из четырёх DSP-блоков переменной точности, настроенных в режим высокой точности. Используемая архитектура DSP-блока для дискретного БПФ содержит ряд новых технических решений: 26-битный предварительный сумматор позволяет осуществить оптимизацию операции 18×25 ; возможность двойного умножения 18×18 позволяет получать действительные или мнимые числа в одном блоке. Реализация режима 8×36 обеспечивает более высокую точность DSP-блока. Применение 64-разрядной каскадной шины позволяет соединять блоки DSP без потери точности.

Таким образом, использование архитектуры DSP-блока переменной точности Stratix V FPGA обеспечивает различные уровни точности, в том числе реализацию операций с плавающей точкой. Разработчики устройств ЦОС могут в одном блоке реализовать сумматор 27×27 как для выполнения приложений в высокоточных операциях с фиксированной точкой, так и для дополнительных приложений при

выполнении операций с плавающей точкой.

Структура схем DSP-блоков переменной точности, входящих в архитектуру ПЛИС Stratix V, оптимизирована для обеспечения максимальной эффективности при реализации КИХ-фильтров и БПФ. Реализация указанных алгоритмов с использованием схем DSP-блоков переменной точности во многих случаях требует только половины ресурсов DSP по сравнению с конкурирующими решениями. Такое преимущество сказывается в конечном счёте на стоимости создаваемого устройства. Кроме того, использование разработчиком нескольких DSP-блоков не приводит к снижению точности алгоритмов цифровой обработки сигналов.

Таким образом, новая архитектура DSP-блока переменной точности ПЛИС Stratix V FPGA обеспечивает повышенную производительность системы, пониженное энергопотребление и снимает ряд ограничений при реализации популярных алгоритмов цифровой обработки сигналов. ☺

ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА СЛУЖБЕ ОТЕЧЕСТВУ



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»



★ Поставляет

электронные компоненты в качестве второго поставщика (номенклатура порядка 400 тыс. наименований более 60 зарубежных производителей) при сотрудничестве с группой компаний ПРОСОФТ

★ Производит

промышленные и встраиваемые компьютеры (в форматах CompactPCI, VME, EPIC, 3,5", PC/104, MicroPC, AT96, PICMG, Mini-ITX, ATX), плат для монтажа на DIN-рейку, а также каркасов, шлейфов, кабелей и аксессуаров, предназначенных для работы в жестких условиях эксплуатации с военной приемкой

★ Разрабатывает

программные и аппаратные средства по техническому заданию заказчика под контролем военного представительства

★ Осуществляет контрактную сботку

изделий по конструкторской документации заказчика, включая поставку печатных плат, поверхностный монтаж и тестирование электронных модулей, изготовление механических деталей корпусов и передних панелей под контролем военного представительства

★ Обеспечивает проведение специальных проверок и исследований

поставляемого электронного оборудования

★ Располагает производственным высокоавтоматизированным оборудованием для поверхностного монтажа электронных модулей,

которое соответствует уровню требований мировых производителей, адаптировано к использованию бессвинцовой технологии, позволяет производить автоматическую разработку и рентгеновский контроль качества пайки

★ Имеет лицензии

на разработку и производство электронных средств для вооружения, военной техники и атомных электростанций, свидетельство об аттестации второго поставщика, а также систему менеджмента качества, сертифицированную в системе «Военный регистр» на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 15.002.

117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108
Тел./факс: (495) 232-20-33 • E-mail: info@dolomant.ru
Web: www.dolomant.ru

Приглашаем на наш стенд № 1-09 на выставке «ЭкспоЭлектроника-2011»

Реклама

Синтез упругомассовых систем управления по желаемой переходной характеристике

Наталья Гудкова, Владимир Чуйков (Ростовская обл.)

Рассматривается метод синтеза упругомассовой системы управления по желаемой переходной характеристике. Показано, что параметры регулятора определяются из соотношений, полученных путём минимизации отклонения переходного процесса в синтезируемой системе от желаемого. Описана методика синтеза, выполнено компьютерное моделирование системы и представлены его результаты.

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

Электромеханические системы являются составной частью различного технологического оборудования. Обычно они представляют собой совокупность силового преобразователя, электродвигателя, механической передачи и рабочего органа. Электродвигатель и рабочий орган связаны между собой с помощью механических передач различного типа, которые в подавляющем большинстве случаев обладают упругими свойствами.

Наличие упругих связей в электромеханической системе приводит к появлению колебательных процессов в динамических режимах работы, что, в свою очередь, снижает точность воспроизведения заданных перемещений рабочих органов и, как следствие, производительность системы или качество выпускаемой продукции.

Для синтеза регулятора, обеспечивающего требуемое качество управления, необходимо иметь достаточно точную математическую модель объекта управления (ОУ), которая учитывает упругие механические связи между элементами и наличие собственных резонансных колебаний в системе.

Как показали проведённые исследования, в настоящее время для широкого класса современных электромеханических устройств в качестве математической модели ОУ (электропривода) используется модель «двигатель – двухмассовый механизм». В такой системе можно с достаточной для практических приложений точностью учитывать смещение центра масс нагрузок, моменты инерции навесного оборудования, электрические параметры электродвигателя и др.

Обобщённая структурная схема объекта «двигатель – двухмассовый механизм» приведена на рисунке 1 [1]. В схеме использованы следующие обозначения величин и параметров: U_y , U – управляющее и выходное напряжение силового преобразователя; I_a – ток якорной цепи электродвигателя; Ω_1 и Ω_2 – угловые скорости валов электродвигателя и рабочего органа; M_c – момент нагрузки, $K_{сн}$ и $T_{сн}$ – коэффициент передачи и постоянная времени силового преобразователя, R_a и T_a – активное сопротивление и постоянная времени якорной цепи, C – конструктивная постоянная двигателя, J_1 и J_2 – моменты инерции ротора двигателя и рабочего органа соответственно, C_{12} и b – приведённый коэффициент жёст-

кости и коэффициент внутреннего вязкого трения кинематической передачи.

Данное структурное описание может быть преобразовано (без учёта пренебрежимо малой постоянной времени силового преобразователя) к передаточной функции ОУ, в которой выходом является измеряемая угловая скорость рабочего органа:

$$W_{oy}(p) = \frac{b_1 p + b_0}{p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0} \quad (1)$$

Анализ структурной схемы и передаточной функции ОУ показывает, что здесь имеет место взаимное влияние друг на друга механической и электрической частей устройства, т.е. упругие колебания в механической части системы приводят к возникновению колебательных режимов в самом электроприводе, что существенно усложняет управление объектом. В этой связи синтез систем управления упругомассовыми объектами представляет собой нетривиальную задачу.

В настоящее время для её решения используются различные способы синтеза регуляторов [2]. Наиболее развитым и законченным методом, по мнению многих авторов, является *модальное управление*.

Этот метод позволяет реализовать желаемые динамические свойства системы путём формирования стандартных характеристических полиномов, распределение корней которых связано с временем переходного процесса, перерегулированием и статической точностью. В результате удаётся синтезировать регуляторы, которые в общем случае сводятся к организации безынерционных и динамических звеньев в контурах обратной связи.

Однако этот способ является достаточно громоздким и требует в каждом конкретном случае, тем более для такой непростой модели, как система «двигатель – двухмассовый механизм», специального анализа и до-

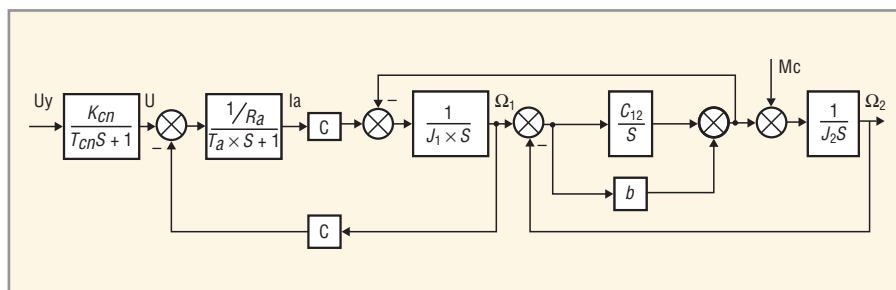
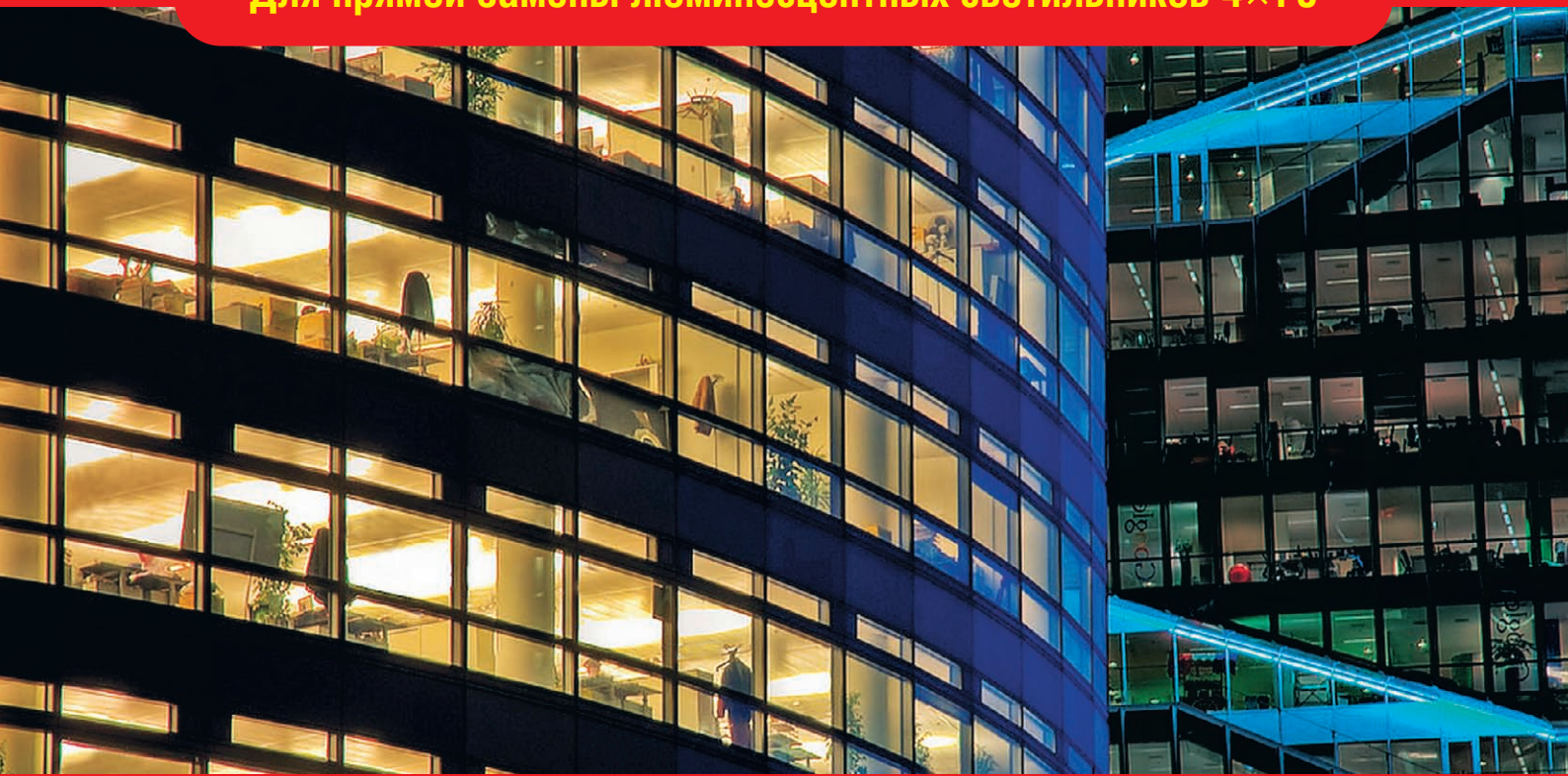


Рис. 1. Обобщённая структурная схема двухмассового объекта управления

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ LED-ТЕХНОЛОГИИ

Для прямой замены люминесцентных светильников 4×18



СЕРИЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Новые светодиодные светильники для внутреннего освещения предназначены для освещения общественных, административных и вспомогательных помещений, офисов, торговых залов, учебных заведений и других общественных помещений. Светильники имеют большую эффективность по сравнению с классическими люминесцентными, не содержат вредных веществ и не требуют обслуживания.

Светильники XLight® имеют встроенные системы защиты от перегрева и являются совершенными осветительными приборами широкого спектра применений.

Высокая эффективность, низкие затраты на обслуживание, исключительная надежность, экологичность и безопасность — основные преимущества светотехнического оборудования XLight®.



Особенности светодиодных светильников

- Специальная оптическая система, исключая слепящее действие
- Возможность выбора цветовой температуры
- Широкий температурный диапазон эксплуатации $-40 \dots +50^{\circ}\text{C}$
- Экономия электроэнергии в 2 раза
- Отсутствие вредных веществ
- Высокая экономичность и эффективность
- Не требуют обслуживания в течение 10 лет
- Гарантия 3 года

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ XLIGHT

полнительных математических выкладок.

В данной статье предпринята попытка использования для синтеза упругомассовых систем достаточно простого и физически прозрачного метода синтеза по желаемой переходной характеристике [3], который обеспечивает требуемые параметры переходных процессов и, на наш взгляд, может применяться в инженерной практике.

Метод синтеза САУ по желаемой переходной характеристике

Сущность метода заключается в синтезе системы автоматического управления (САУ) с заданными показателями качества, к которым относятся:

- допустимые величины ошибок в установившихся режимах (статической ошибки, ошибок по скорости, по ускорению и др.);
- требуемый запас устойчивости системы;
- допустимое время регулирования (время протекания переходных процессов);
- допустимая величина перерегулирования (максимально допустимое значение амплитуды колебаний переходной характеристики системы).

Реализация метода в общем случае заключается в выполнении следующей последовательности действий:

- выбирается тип регулятора, обеспечивающий требуемый порядок астатизма для заданной САУ;
- составляется структурная схема синтезируемой САУ и находится её передаточная функция:

$$W_3(p) = \frac{B(p)}{A(p)},$$

- записывается изображение по Лапласу $X(p)$ переходной характеристики этой системы $x(t)$, в коэффициенты которого A_i и B_i входят искомые параметры регулятора:

$$X(p) = \frac{W(p)}{p} = \frac{B(p)}{A(p)} \frac{1}{p} = \frac{B_0 + B_1 p + \dots + B_n p^n}{A_0 + A_1 p + \dots + A_n p^n} \frac{1}{p},$$

$A_n \neq 0; \quad (2)$

- задаются допустимые значения параметров перерегулирования σ и времени регулирования t_p и соответствующая им желаемая переходная характеристика $x^*(t)$ в виде её изображения по Лапласу:

$$X^*(p) = \frac{W^*(p)}{p} = \frac{\beta(p)}{\alpha(p)} \frac{1}{p} = \frac{\beta_0 + \beta_1 p + \dots + \beta_m p^m}{\alpha_0 + \alpha_1 p + \dots + \alpha_m p^m} \frac{1}{p},$$

$\alpha_m \neq 0, \quad (3)$

где $W^*(p)$ – передаточная функция эталонной системы, выбор конкретных параметров α_i и β_i которой обеспечивает требуемые свойства желаемой переходной характеристики $x^*(t)$;

- рассчитываются параметры регулятора по соотношениям, полученным путём минимизации отклонения переходного процесса синтезируемой системы от желаемого.

Поясним процедуру получения расчётных соотношений.

Величина отклонения $\varepsilon(t)$ синтезируемого процесса $x(t)$ от желаемого $x^*(t)$ оценивается с помощью разности:

$$\varepsilon(t) = x(t) - x^*(t). \quad (4)$$

Выполнив преобразование Лапласа над уравнением (4), запишем:

$$\frac{\varepsilon(p)}{X^*(p)} = \frac{X(p) - X^*(p)}{X^*(p)}. \quad (5)$$

Подставив в формулу (5) выражения (2) и (3), получим:

$$\frac{\varepsilon(p)}{X^*(p)} = \frac{B(p)\alpha(p) - A(p)\beta(p)}{A(p)\beta(p)} = \frac{\tilde{D}(p)}{\tilde{F}(p)}, \quad (6)$$

где $\frac{\tilde{D}(p)}{\tilde{F}(p)}$ можно представить в виде отношения двух полиномов по возрастающим степеням комплексной величины p :

$$\frac{\tilde{D}(p)}{\tilde{F}(p)} = \frac{D_0 + D_1 p + \dots + D_n p^n}{F_0 + F_1 p + \dots + F_n p^n}. \quad (7)$$

Если функция (7) не имеет полюсов в начале координат, то для определённой области значений p её можно записать в виде сходящегося ряда по возрастающим степеням комплексной величины p :

$$\frac{\tilde{D}(p)}{\tilde{F}(p)} = \sum_{j=0}^{\infty} R_j p^j, \quad (8)$$

коэффициенты которого R_j легко определяются путём деления числителя на знаменатель дробно-рациональной функции (7), что приводит к рекуррентной формуле:

$$R_0 = \frac{D_0}{F_0}; R_i = \frac{D_i - \sum_{k=0}^{i-1} R_k F_{i-k}}{F_0} \quad (j = 1, 2, 3). \quad (9)$$

Из выражений (7) и (9) находим:

$$\varepsilon(p) = R_0 X^*(p) + R_1 p X^*(p) + R_2 p^2 X^*(p) + \dots \quad (10)$$

Переходя от изображений к оригиналам, из (10) получим формулу $\varepsilon(t)$ во временной области:

$$\varepsilon(t) = R_0 x^*(t) + R_1 \frac{dx^*(t)}{dt} + R_2 \frac{d^2 x^*(t)}{dt^2} + \dots \quad (11)$$

Ряд (10) сходится при малых значениях $\text{mod } p$, следовательно, при больших значениях t ряд (11) тоже сходится.

Понятно, что отклонение синтезируемого процесса от желаемого уменьшается при увеличении числа равных нулю первых коэффициентов ряда (11).

Далее, приравняв нулю первые r коэффициентов R_i , получим систему r уравнений, из которой можно определить r параметров регулятора. Число искомых параметров выбирается из условия обеспечения заданной точности воспроизведения желаемого процесса $x^*(t)$ в синтезируемой системе.

С учётом изложенного система уравнений для определения параметров регулятора принимает вид:

$$\begin{cases} \alpha_0 B_0 - \beta_0 A_0 = 0 \\ (\alpha_0 B_1 + \alpha_1 B_0) - (\beta_1 A_0 + \beta_0 A_1) = 0 \\ (\alpha_0 B_2 + \alpha_1 B_1 + \alpha_2 B_0) - (\beta_0 A_2 + \beta_1 A_1 + \beta_2 A_0) = 0 \\ \dots \\ (\alpha_0 B_{r-1} + \alpha_1 B_{r-2} + \dots + \alpha_{r-1} B_0) - (\beta_0 A_{r-1} + \beta_1 A_{r-2} + \dots + \beta_{r-1} A_0) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

После решения уравнений (12) при необходимости оценивается устойчивость САУ с синтезированным регулятором (например, с помощью критерия Гурвица) и выполняется моделирование на персональном компьютере (ПК) переходных процессов в системе при различных воздействиях с целью проверки её эффективности в смысле обеспечения требуемого качества управления.

Следует отметить, что описанная процедура синтеза легко программируется на ПК, что позволило авторам создать набор модулей САПР для различных практических приложений.

Опыт использования приведённых алгоритмов показал: вследствие того, что данный метод даёт приближенное решение, показатели качества управления синтезированной системы могут несколько отличаться от заданных, однако при правильном выборе регулятора всегда можно добиться требуемых показателей как в переходном, так и в установившихся режимах.

Выбор желаемой переходной характеристики

Как показано [3], эталонной моделью в общем случае может служить математическая модель любой системы с желаемыми для синтезируемой САУ показателями качества.

Практический опыт использования данного метода показал, что вполне приемлемые для инженерного применения результаты могут быть получены при выборе эталонной модели в виде системы второго порядка с передаточной функцией:

$$W^*(p) = \frac{\beta_0 + \beta_1 p}{\alpha_0 + \alpha_1 p + \alpha_2 p^2} \quad (13)$$

Этот выбор обусловлен тем, что динамика многих САУ более высокого порядка достаточно близка к динамике системы второго порядка. В то же время для такой системы существует однозначная связь между её параметрами

рами $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \beta_0$ и β_1 и показателями качества [4].

В частности, для системы с астатизмом первого порядка удобно представлять выражение (13) в форме пе-

редаточной функции колебательно-го звена:

$$W^*(p) = \frac{1}{1 + 2d_* T_* p + T_*^2 p^2}, \quad (14)$$

где T_* – постоянная времени, а d_* – коэффициент демпфирования. В этом случае $\alpha_0 = \beta_0 = 1; \beta_1 = 0; \alpha_1 = 2d_* T_*; \alpha_2 = T_*^2$.

Иногда может быть выбрана ещё более простая эталонная модель инерционного звена первого порядка:



www.prosoft.ru/ocd

WIND RIVER

Комплекс внутрисхемной отладки Wind River OCD

- Мощное JTAG-решение для полного цикла разработки устройств
- Исчерпывающая информация об устройстве вне зависимости от его состояния и работоспособности ОС
- Поддерживает многопоточность и многоядерные процессоры
- Интегрированная среда на базе Eclipse
- Совместим с ОС VxWorks, Wind River Linux и ThreadX

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ WIND RIVER

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640
E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

Реклама

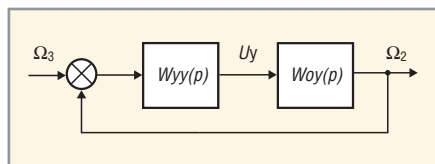


Рис. 2. Структурная схема синтезируемой системы автоматического управления

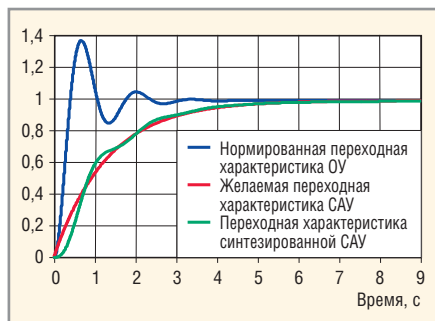


Рис. 3. Эпюры переходного процесса САУ для двухмассового ОУ с синтезированным И-регулятором с постоянной времени 29,303 с

Желаемая переходная характеристика – переходная функция инерционного звена с постоянной времени $T^* = 1,3$ с

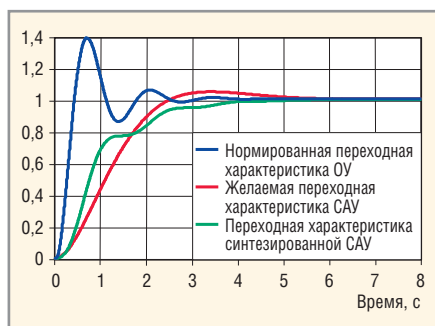


Рис. 4. Эпюры переходного процесса САУ для двухмассового ОУ с синтезированным И-регулятором с постоянной времени 23,837 с

Желаемая переходная характеристика – переходная функция колебательного звена с коэффициентом демпфирования $d^* = 0,707$ и постоянной времени $T^* = 0,75$ с

$$W^*(p) = \frac{\beta_0}{\alpha_0 + \alpha_1 p} \quad (15)$$

Тогда для системы с астатизмом первого порядка

$$W^*(p) = \frac{1}{1 + T^* p}, \quad (16)$$

где T^* – постоянная времени, $\alpha_0 = \beta_0 = 1$; $\alpha_1 = T^*$.

ВЫБОР ТИПА РЕГУЛЯТОРА

Показано [3], что рассматриваемый метод предназначен для синтеза как одноконтурных, так и многоконтурных систем с последовательными, параллельными и встречно-параллельными корректирующими звеньями (так называемыми линейными фильтрами).

К ним относятся, в частности, широко используемые в промышленной автоматике типовые законы управления САУ:

- пропорциональный закон (П-закон) с передаточной функцией регулятора $W_{\Pi}(p) = K_{\Pi}$, где K_{Π} – весовой коэффициент безынерционного звена;
- интегральный закон (И-закон) с передаточной функцией регулятора $W_{\text{И}}(p) = K_{\text{И}}/p$, где $K_{\text{И}} = 1/T_{\text{И}}$ – весовой коэффициент интегрирующего звена, а $T_{\text{И}}$ – его постоянная времени;
- пропорционально-интегральный закон (ПИ-закон) с передаточной функцией регулятора $W_{\text{ПИ}}(p) = K_{\Pi} + K_{\text{И}}/p$;
- пропорционально-дифференциальный закон (ПД-закон) с передаточной функцией $W_{\text{ПД}}(p) = K_{\Pi} + K_{\text{Диф}}p$, где $K_{\text{Диф}}$ – весовой коэффициент дифференцирующего звена;
- пропорционально-интегро-дифференциальный закон (ПИД-закон) с передаточной функцией регулятора $W_{\text{ПИД}}(p) = K_{\Pi} + K_{\text{Диф}}p + K_{\text{И}}/p$.

Как показала практика, перечисленного набора типовых регуляторов во многих случаях достаточно для их инженерного использования при создании сложных автоматических систем, в том числе, систем с упругими свойствами. Следует также подчеркнуть про стоту реализации типовых законов средствами современной цифровой системотехники.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Эффективность предлагаемого метода демонстрируется на примере компьютерного моделирования процедуры синтеза САУ упругомассовым объектом, структурная схема которого показана на рисунке 1, где численные значения параметров равны [1]: $K_{\text{сп}} = 22$; $T_{\text{сп}} = 0,0033$ с; $R_a = 0,177$ Ом; $T_a = 0,02$ с; $C = 0,976$ Вб; $J_1 = 0,11$ кг м²; $J_2 = 0,56$ кг м²; $C_{12} = 14$ Н м/рад; $b = 0,22$ Н м с/рад.

В этом случае передаточная функция ОУ (1) принимает вид:

$$W_{\text{ОУ}}(p) = \frac{21663 p + 1378531}{p^4 + 52,4 p^3 + 2718,2 p^2 + 8574,7 p + 61157}. \quad (17)$$

Структурная схема синтезируемой САУ показана на рисунке 2. На схеме

приняты следующие обозначения: $W_{\text{УУ}}(p)$ – передаточная функция устройства управления (регулятора); $W_{\text{ОУ}}(p)$ – передаточная функция объекта управления; Ω_3 – заданная угловая скорость системы (задающее воздействие); Ω_2 – угловая скорость рабочего органа (управляемая величина); U_y – напряжение на входе ОУ (управляющее воздействие).

При моделировании ставилась задача синтезировать САУ, обладающую астатизмом первого порядка, чтобы после окончания переходного процесса, т.е. в установившемся режиме, статическая ошибка равнялась нулю. Как известно, такая система должна иметь в контуре управления регулятор интегрирующего типа. Поэтому для данного объекта был выбран простейший из регуляторов этого класса – И-регулятор.

Моделирование выполнялось в среде Matlab с помощью специально разработанных для этой цели программных модулей, которые осуществляют процедуру синтеза выбранных законов управления, рассчитывают переходные процессы в нерегулируемом объекте, в эталонной модели и синтезированной САУ с графическим выводом полученных данных.

В первом эксперименте в качестве желаемой переходной функции для синтезируемой системы была использована переходная функция $x^*(t)$ инерционного звена (16) при $T^* \approx t_p/3$, где t_p – допустимое время регулирования в синтезируемой системе.

Во втором эксперименте в качестве желаемой переходной функции была выбрана переходная функция колебательного звена (14), где постоянная времени $T^* \approx t_p/3$, как и в первом случае, а величина коэффициента демпфирования $d^* = 0,707$. При этих значениях параметров величина перерегулирования σ^* не превышает 5% от установившегося значения $x^*(\infty)$, что соответствует максимальному быстрдействию эталонной модели [4].

Результаты обоих экспериментов отражены на рисунках 3 и 4, где приняты следующие обозначения:

$$\bar{h}_{\text{ОУ}}(t) \equiv \frac{d_0}{b_0} h_{\text{ОУ}}(t) - \text{нормированная пе-}$$

реходная характеристика ОУ, где d_0 и b_0 – коэффициенты передаточной функции ОУ, а $h_{\text{ОУ}}(t)$ – переходная ха-

рактеристика ОУ, описывающая изменение во времени скорости рабочего органа при подаче на его вход нормированного управляющего воздействия $U_y = 1(t); \Omega_3 = 1(t)$ – постоянное входное воздействие, соответствующее заданной нормированной угловой скорости системы; $x^*(t)$ – желаемая переходная характеристика САУ, соответствующая желаемой угловой скорости рабочего органа $\Omega_2^*(t)$, нормированной по Ω_3 , т.е. $x^*(t) = \Omega_2^*(t)/\Omega_3$; $x(t)$ – переходная характеристика, соответствующая угловой скорости рабочего органа $\Omega_2(t)$ в синтезированной системе, нормированной по Ω_3 , т.е. $x(t) = \Omega_2(t)/\Omega_3$.

Как видно из рисунков, нормированная переходная характеристика ОУ носит характер затухающих колебаний, максимальная амплитуда которых достигает $1,38\bar{h}_{oy}(\infty)$, а время регулирования ОУ t_p^{oy} , т.е. время, по истечении которого переходная характеристика $\bar{h}_{oy}(t)$ остаётся в пределах $0,95\bar{h}_{oy}(\infty) < \bar{h}_{oy}(t) < 1,05\bar{h}_{oy}(\infty)$, составляет примерно 2,5 с.

В обоих экспериментах И-регулятор эти колебания подавляет, однако по-разному. В первом эксперименте (см. рис. 3), когда в качестве эталонной модели используется инерционное звено с постоянной времени $T^* = 1,3$ с, переходная характеристика синтезированной САУ $x(t)$ носит слабый колебательный характер. При этом время регулирования $t_p(t)$ совпадает с временем установления переходной характеристики эталонной модели и составляет примерно 3,9 с.

Во втором эксперименте (см. рис. 4), при использовании в качестве эталонной модели колебательного звена с постоянной времени $T^* = 0,75$ с, время регулирования в синтезированной САУ несколько уменьшается и составляет примерно 3,6 с, однако при этом переходный процесс в системе становится более колебательным.

Анализ проведённых экспериментов показал, что в общем случае выбранный регулятор можно использовать для подавления колебаний в упруго-массовых системах при не слишком высоких требованиях к их быстродействию.

Выводы

Полученные в работе результаты свидетельствуют о возможности эф-

фективного использования предложенного метода для синтеза систем управления упругомассовыми объектами. Следует подчеркнуть алгоритмическую простоту метода, позволяющую автоматизировать процедуру синтеза подобных САУ при различных типах регуляторов с помощью универсальных компьютерных программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарарыкин С.В., Копылова Л.Г., Тютиков В.В. Особенности управления состоя-

нием электромеханических систем при ограниченной мощности исполнительных устройств. Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 6. С. 11–16.

2. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. Энергоатомиздат, 1992.

3. Смольников Л.П., Бычков Ю.А., Гудкова Н.В. Расчёт систем управления. Энергия, 1979.

4. Бесекецкий В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб: Профессия, 2004.



Магнитодиэлектрики MICROMETALS

Применение сердечников Micrometals гарантирует:

- снижение стоимости индуктивных компонентов
- повышение надёжности аппаратуры
- снижение потерь на 30...50% по сравнению с ферритами
- оптимизацию конструкции и уменьшение габаритов индуктивных компонентов



реклама

Телефон: (495) 234-0636 | Факс: (495) 234-0640
E-mail: info@prosoft.ru | Web: www.prosoft.ru

PROSOFT®

Основной инструмент продаж в B2B-сегменте?

Очевидно, что оценку эффективности маркетинговых инструментов и разработку стратегии продвижения следует начинать практически одновременно с началом производства продукта. Ведь порой качественная рекламная кампания и грамотные коммуникации способны сгладить недостатки продукта и оперативно среагировать на изменения рынка, а правильное позиционирование – наделять предложение дополнительными конкурентными преимуществами.

Долгое время основным и наиболее результативным методом представления товара в B2B-сегменте по праву считалось участие компании в отраслевых выставочных проектах: казалось бы, мало что ещё может гарантировать такое большое количество целевых контактов и эффективную имиджевую представленность. Но в последнее десятилетие активную конкуренцию выставкам пытается составить Интернет.

Для того чтобы сравнить эффект от каждого из способов продвижения, мы предлагаем оценить, насколько выставка и интернет-коммуникации способствуют принятию решения о сотрудничестве.

Профессиональные покупатели при заключении договора, согласно исследованиям, руководствуются следующими критериями.

Выбор – возможность сравнить множество предложений и найти решение, наилучшим образом отвечающее потребностям.

Выставки достоверно отражают ситуацию в отрасли, позволяют отследить активность всех конкурентов, а специализированные мероприятия деловой программы не просто демонстрируют новинки, но и помогают выработать решения и пути развития рынка, что в совокупности даёт хорошие шансы каждому экспоненту привлечь крупных потребителей и торговых агентов в своей области.

Интернет – это платформа для распространения информации – текстовой, аудио- и видео-. Но информационная осведомлённость даже о нескольких продуктах параллельно не даёт возможности потенциальным клиентам получить практические разъяснения, задать вопросы и тут же получить ответы на них, оценить значимость и статус компании-партнёра и в целом может помочь только подготовить почву для успешных переговоров, но не осуществить их.

Наглядное представление продукта – возможность вживую увидеть и оценить качество представленных продуктов

Выставка полностью решает данную задачу: посетитель может оперативно получить ответы на все свои вопросы, а участник – составить перечень интересующей информации о продукте, чтобы в последующем формировать ещё более полное предложение.

Интернет. Приблизительно каждый восьмой пользователь жалуется на невозможность найти на сайте всё необходимое, несмотря на то что 40% ответов о преимуществах интернет-продаж упоминают полноту информации о продукте.

Экономия времени – возможность в короткое время решить множество задач

Выставка. Многофункциональность выставки совершенно очевидна: каждый из участников в одно и то же время может, помимо достижения основной цели – новых деловых знакомств, – параллельно посетить деловые мероприятия, оценить эффективность собственных рекламных усилий и отследить рекламную активность конкурентов, собрать данные о новинках и основных трендах отрасли, провести давно намеченные переговоры и встретиться со старыми партнёрами, в конце концов, присутствие на выставке для некоторых игроков – это обязательная часть имиджевой политики.

Интернет решает часть обозначенных задач своими способами, но вопросы личных коммуникаций, столь привычных для бизнеса, роста значимости компании среди профессионалов отрасли, знакомства с представителями органов исполнительной власти, принимающими решения по ключевым вопросам в той или иной области, и в целом имиджевое позиционирова-

ние информационным технологиям пока не под силу, а значит, придётся потратить дополнительное время и усилия на их реализацию.

Информация и знания – возможность изучить новые продукты и способы их применения, оценить ситуацию на рынке, увидеть новинки, ознакомиться с тенденциями, найти способ решения проблем, заимствовать опыт и свежие идеи, повысить профессиональную квалификацию

Выставка и интернет (без учёта затрачиваемого времени и оговоренных выше качественных составляющих информации) по-разному могут решить данную задачу с практически одинаковым эффектом.

Личные контакты – возможность наладить полезные связи (нетворкинг), обменяться опытом, мнениями, обсудить актуальные темы, получить удовольствие от общения в профессиональном кругу и т.д.

На самом деле только выставка позволяет получить именно личные контакты, более того, даже при наличии каких-либо договорённостей между компаниями 91% руководителей считают бизнес-отношения непрочными без присутствия личного знакомства с ключевыми менеджерами предприятий-партнёров, а 85% отмечают, что лучшей площадкой для установки таких контактов может быть только выставка.

Интернет в этом вопросе предлагает «заменители» в виде общения по skype или в формате видеоконференций, но полного ощущения личной встречи, конечно, не даёт.

С помощью такого нехитрого списка минимальных целей для качественно позиционирования своих услуг и продуктов и их эффективного продвижения на рынке, становится понятно, что «модные» и весьма распространённые интернет-технологии во многом облегчают ситуацию, являются важным инструментом, который обязательно нужно использовать, но не могут обеспечить те результаты, которые необходимы компаниям в B2B-сегменте, и которые в полной мере гарантируют выставочные проекты.

Ufi
Approved
Event

Весна в электронике!

19-21 АПРЕЛЯ 2011. МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО

14-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
КОМПОНЕНТОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

E • X • P • O 
ELECTRONICA

www.expoelectronica.ru

+7 (812) 380 6003/07/00, electron@primexpo.ru

Организаторы:



При содействии:



Полная линейка приборных корпусов

Технология EuroPacPRO — ГАЛАКТИКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ



CompacPRO

Простой и удобный переносной корпус

- Разнообразные конфигурации
- Идентичные передняя и задняя рамки
- Простота сборки – компоненты фиксируются с внешней стороны
- Высокая прочность и надежность
- Привлекательная цена

PropacPRO

Прочный переносной корпус с системой электромагнитного экранирования

- Разнообразные конфигурации
- Привлекательный дизайн
- Прочная литая передняя рамка
- Возможность электромагнитного экранирования
- Может использоваться для медицинского оборудования

RatiopacPRO

Универсальный корпус для любых применений

- Настольное, переносное или стоечное исполнение
- Произвольные размеры и разнообразные конфигурации
- Возможность электромагнитного экранирования
- Эффективные системы охлаждения

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ SCHROFF

PROSOFT®

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru
САМАРА Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КИЕВ Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru
УФА Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • E-mail: info@ufa.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КАЗАНЬ Тел.: (843) 291-7555 • Факс: (843) 570-4315 • E-mail: info@kzn.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ОМСК Тел.: (3812) 286-521 • E-mail: omsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЧЕЛЯБИНСК Тел.: (351) 239-9360 • E-mail: chelyabinsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КРАСНОДАР Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • E-mail: krasnodar@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Н. НОВГОРОД Тел.: (831) 215-4084 • Факс: (831) 215-4084 • E-mail: n.novgorod@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

GaN HEMT транзисторы для телекоммуникационных приложений



Эра новых технологий!

Новая серия включает GaN-транзисторы с выходной мощностью от 6 до 120 Вт, работающих в диапазоне частот: DC–2,0 ГГц, 1,8–2,3 ГГц, 3,3–3,8 ГГц и 4,9–5,8 ГГц.

Серия также включает мощные транзисторы на 180 и 240 Вт с диапазоном рабочих частот 1,8–2,3 ГГц.



Выходная мощность	DC–2,0 ГГц	1,8–2,3 ГГц	2,3–2,7 ГГц	3,3–3,8 ГГц	5,3–5,8 ГГц
6 Вт	CGH40006S	CGH40006S	CGH40006S	CGH40006S	CGH40006S
15 Вт	CGH27015 F/P	CGH27015 F/P	CGH27015 F/P	CGH35015 F/P	CGH55015 F1/P1
30 Вт	CGH27030 F/P	CGH27030 F/P	CGH27030 F/P	CGH35030 F/P	CGH55030 F1/P1
60 Вт	CGH27060 F	CGH27060 F	CGH27060 F	CGH35060 F	—
120 Вт	CGH09120 F	CGH21120 F	CGH25120 F	—	—
180–240 Вт	—	CGH21240 F	—	—	—



Тип 440117
Размер: 9,65×34,03 мм



Тип 440193
Размер: 5,84×20,32 мм



Тип 440166
Размер: 4,06×13,97 мм



Тип 440162
Размер: 9,65×20,32 мм



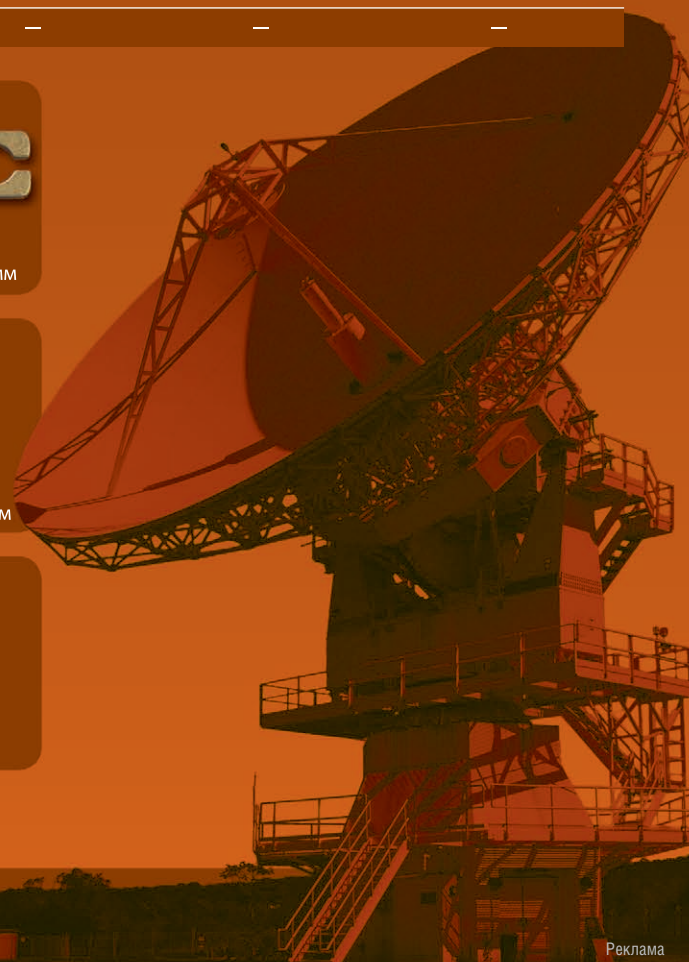
Тип 440095
Размер: 5,84×20,32 мм



Тип 440196
Размер: 4,06×5,08 мм



Тип 440204
Размер: 3×3 мм



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР CREE MICROWAVE В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



Тел.: (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

Реклама

© СТА-ПРЕСС

20 лет помогаем Вам создавать
системы электропитания

 АЛЕКСАНДЕР
ЭЛЕКТРИК
www.aeps-group.ru

DC/DC преобразователи серии

MR JET

- Ультеракомпактные размеры от 48x33x10 мм
- Высокие показатели КПД до 90%
- Температурный диапазон -60...+125°C



Приглашаем посетить наш стенд № 1 02
на выставке "ЭкспоЭлектроника"
19-21 апреля 2011, Крокус Экспо



Воронеж: т/ф: + 7 473 2 519 518, alexdon@vmail.ru
Москва: т/ф: + 7 495 510 64 11, aei@aedon.ru
Прага: т/ф: + 420 266 107 455, aeps@aeps-group.cz

Новинка!