

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

2

2026



Электронная
версия этого
журнала

NEWSPACE: на работу на орбиту

БЕЗ ШУМА И ПЫЛИ:
методы анализа
слабых сигналов

СПОРЫ ЖИЗНИ ИЗ КОСМОСА:
о доверии и доверчивости
в науке



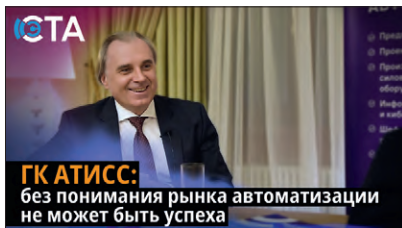
ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



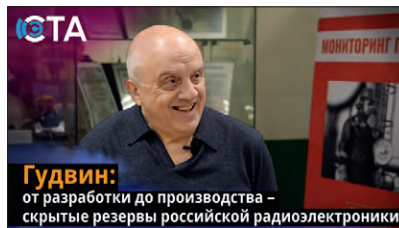
ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»
подписка с гарантированной доставкой



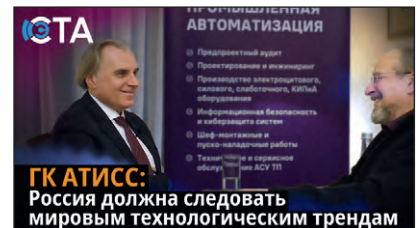
онлайн: www.cta.ru • +7 495 234-0635 • shop@cta.ru
на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)



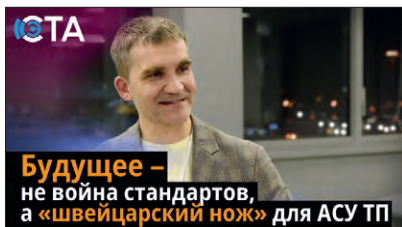
Интервью с Владиславом Ерошченковым – экспертом российского рынка промышленной автоматизации и исполнительным директором ГК АТИСС



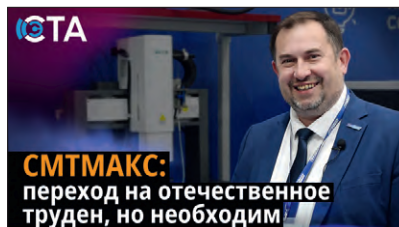
Интервью с Алексеем Истоминым (главный технолог) и с Михаилом Нагорским (технический директор), «Концерн Гудвин (Гудвин Европа)»



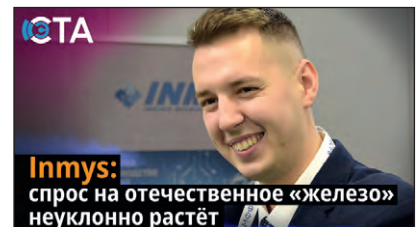
Интервью с Владиславом Ерошченковым – экспертом российского рынка промышленной автоматизации и исполнительным директором ГК АТИСС



Интервью с Романом Шиндиным – руководителем отдела pre-sale компании «Tibbo Systems»

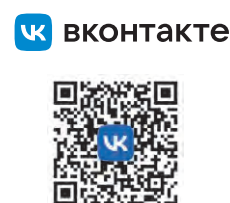


Интервью с Александром Масловым – исполнительным директором ООО «СМТМАКС»



Интервью с Артёмом Слеповым – инженером-программистом Inmys

СМОТРИТЕ НА КАНАЛЕ СЭТА



СЛУШАЙТЕ В ПОДКАСТЕ СЭТА





Здравствуйтесь, уважаемые друзья!

В этом выпуске журнала мы познакомим вас с новейшими разработками в электронике, космических технологиях и промышленной автоматизации. Особое внимание уделено решениям для рынка «NewSpace» – концепции, объединяющей частные инициативы в космической отрасли и направленной на малозатратный доступ в космос. Рассмотрены недорогие DC/DC-преобразователи с повышенной радиационной стойкостью для применения в космических программах нового поколения.

Для специалистов по высокочастотной электронике мы подготовили обзор адаптеров Bullet: история их создания, причины проблем при соединении плат и модулей СВЧ, а также характеристики изделий с верхней частотой применения до 100 ГГц.

В одной из статей мы рассмотрели применение ИМС LM3909, открывающей интересные возможности для питания светодиодов при низком напряжении и экономно потребляющей энергию. Примеры практического использования включают проблесковые маячки, аварийное оборудование и морскую навигацию.

Для инженеров, чья работа связана с применением осциллографа, представлен анализ способов измерений зашумлённых сигналов, включая усреднение осциллограмм, ограничение полосы пропускания и использование внешних фильтров.

Любителям необычных и захватывающих воображение теорий и экспериментов будет интересна первая часть статьи, где обсуждаются уникальные эксперименты с металлическим тросом в ионосфере и возможная роль плазменных образований в зарождении жизни на Земле.

В разделе простых практических решений представлены материалы о программном калькуляторе для ускорения вычислений, тестовой программе для проверки исправности контроллеров, а также статья о применении генератора на DDS AD9837 с усилителями низкого THD и стабилизированными источниками питания.

Мы продолжаем следить за развитием технологий и собирать для вас всё интересное на нашем портале www.cta.ru, где публикуются свежие новости отрасли и все материалы журналов.

Спасибо, что остаётесь с нами. Читайте с интересом и оставайтесь на передовой современных технологий!

Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков

Заместитель главного редактора А. В. Малыгин

Редакционная коллегия А. Е. Балакирев, В. К. Жданкин,

С. А. Сорокин, Р. Х. Хакимов

Вёрстка М. Ю. Соколов

Распространение Ю. А. Фенчева (shop@cta.ru)

Реклама Н. А. Антипов +7 (968) 567-30-06 (antipov.n@cta.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108,
пом/ком/эт 1/67/тех

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,

Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

shop@cta.ru • www.cta.ru

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

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

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19,

бизнес-центр Вэлдан.

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только

с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает

с мнением авторов.

Все упомянутые в публикациях журнала наименования

продукции и товарные знаки являются собственностью

соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2026

Мы в соцсетях





ГК АТИСС:
без понимания рынка автоматизации
не может быть успеха

Интервью с Владиславом Ерошченковым – экспертом российского рынка промышленной автоматизации и исполнительным директором ГК АТИСС

От интегратора к вендору: как команда Schneider Electric построила нового лидера на рынке АСУ ТП

После ухода западных гигантов возник вакуум. Кто сможет говорить с «Газпромом» и «Лукойлом» на языке ISA-88, выполнять проекты по зарубежным стандартам и при этом создавать собственные аппаратные продукты? В эксклюзивном интервью руководитель ГК «АТИСС» – бывший исполнительный директор Schneider Electric – раскрывает:

- Почему 250 инженеров из его команды не ушли к заказчикам, а создали компанию-интегратор, которая выросла в 7 раз за 2 года?
- Какой путь от сборки шкафов до вендора решений они прошли и зачем им собственный НИОКР с терминальными панелями и интеллектуальными позиционерами?
- Почему их позиционер со встроенной нейросетью работает на токовой петле 4–20 мА и предсказывает износ клапана без внешнего питания?
- Как они заставили ИИ работать в АСУ ТП: не ChatGPT для операторов, а промышленные LLM, обученные на 300+ проектах – от Амурского ГХК до Норильска.
- Они тестируют системы из 50 000 сигналов на цифровых двойниках – и заставляют заказчиков платить за тренажерные комплексы, которые экономят месяцы пусконаладки.
- Жесткие данные: почему инжиниринг на одном российском ПЛК стоит в 2 раза дороже, чем на другом, и при чем здесь DCS vs PLC-архитектура.

Это не рассказ о «замещении импорта». Это кейс построения инженерной компании, которая уже сегодня делает то, что большинство обсуждает как «перспективу»: встраивает ИИ в полевые устройства, оцифровывает сборочное производство до 3D-моделей в реальном времени и меняет бизнес-модель с интегратора на поставщика решений.



ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 4** **Баланс стоимости и надёжности в DC/DC-преобразователях для проектов «NewSpace»**
Виктор Жданкин
- 18** **Адаптеры Bullet – ключевой элемент соединителей SMPM, SMPS и SM4P с предельной частотой до 100 ГГц**
Кива Джуринский, Виктор Кустов

- 24** **Применение ИМС LM3909 в типовом и нестандартном включении**
Александр Одинец

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- 34** **Анализ зашумлённых сигналов на осциллографах VESNA серии OVS3**
Николай Лемешко, Александр Агуреев
- 42** **Космическая версия зарождения жизни. Часть 1. Новая интерпретация феномена атмосферных плазменных образований, зафиксированных во время полёта шаттла «Columbia» в 1996 году**
Виктор Алексеев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 47** **Программный калькулятор для быстрых и точных вычислений**
Олег Вальпа

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 48** **Тестовая программа для проверки контроллеров**
Олег Вальпа
- 50** **Расширение возможностей генератора на DDS AD9837 по амплитуде выходного сигнала**
Алексей Кузьминов

Баланс стоимости и надёжности в DC/DC-преобразователях для проектов «NewSpace»

Виктор Жданкин,
технический специалист (viktor@prochip.ru)

В статье, написанной по материалам компании VPT, рассказано об относительно новом явлении в космонавтике – концепции «NewSpace». Это комплексный термин движения и философии, связанных с возникающей частной деятельностью в космической отрасли. К примеру, он используется для ссылки на сообщество относительно новых авиакосмических компаний, которые работают над развитием малозатратного доступа в космос или технологиями космического полёта. Представлена серия недорогих DC/DC-преобразователей напряжения с повышенным уровнем радиационной стойкости (radtolerant), специально созданных для применения в программах «NewSpace».

Радиация является главным фактором риска для бортовой электронной аппаратуры при эксплуатации в космическом пространстве и причиной преждевременных отказов в пределах срока эксплуатации спутника или космического корабля. Электронное оборудование, например преобразователи напряжения, будет оцениваться по их надёжности при таких последствиях воздействия радиации, как суммарная накопленная доза, одиночные эффекты и структурные повреждения в полупроводниковом материале в результате смещения атомов из устойчивых положений в кристаллической решётке под воздействием высокоэнергетических протонов и нейтронов.

В космических применениях обычно используются компоненты с предельным уровнем радиационной стойкости (rad-hard). Тем не менее существует популярная тенденция к применению коммерчески доступных электронных компонентов в космосе, обусловленная существенным уменьшением их стоимости и времени производственного цикла по сравнению с радиационно-стойкими аналогами.

Тенденция коммерциализации космоса проявляется в таких программах, как «NewSpace»: сочетание более короткого жизненного цикла программы и крупный масштаб развёртываний стимулируют необходимость оптимизации стоимости и более коротких сроков разработки. Баланс между стоимостью и надёжно-

стью одинаково активно ищут космические агентства и изготовители комплексного оборудования для лучшего управления развивающимися космическими программами. Компания VPT отреагировала на эту проблему организацией внутренней программы по обеспечению радиационной стойкости (Radiation Hardness Assurance, RHA) для DC/DC-преобразователей серии VCS, достигнув баланса между стоимостью и временными факторами задержки поставок компонентов с предельным уровнем радиационной стойкости и проблемами с надёжностью у неразбраканных коммерчески доступных компонентов без специфицированных показателей радиационной стойкости.

Воздействие радиации на электронное оборудование в космосе

Для того чтобы лучше понимать, что такое радиационная стойкость устройства, важно разобраться, каким образом радиация может воздействовать на электронную аппаратуру в космосе. Основными источниками высокоэнергетических частиц в порядке возрастания значений энергии частиц (МэВ) являются:

- протоны и ионы солнечных космических лучей;
- галактические космические лучи;
- радиация естественных поясов Земли (протоны и электроны).

За ними следуют источники с более низкими значениями энергий, такие как горячая плазма и ионосферная плазма, которые будут иметь менее

критическое радиационное воздействие на электронную аппаратуру при эксплуатации.

Система показателей, таких как суммарная накопленная доза, одиночные эффекты и структурные повреждения, используется для определения разнообразных эффектов, которые возникают при воздействии радиации на электронную аппаратуру. Суммарная накопленная доза зависит от длительности воздействия ионизирующего излучения протонов или электронов, тогда как структурные повреждения являются результатом длительного воздействия неионизирующего радиационного воздействия, обусловленного протонами и нейтронами (обычно тестируется нейтронами). Одиночные эффекты классифицируются от небольших переходных состояний или нарушения целостности цифровых данных (обратимые эффекты) до деструктивных катастрофических эффектов (необратимые эффекты), которые вызываются одиночными заряженными частицами, такими как тяжёлые ионы или протоны. Эти различные системы показателей позволяют проектировщикам космического аппарата эффективно испытывать электронную аппаратуру, исходя из того, каким образом радиация ускоряет деградацию оборудования (полная накопленная доза и эффекты структурных повреждений), а также каким образом одиночные переходные явления могут вызывать изменения в ключевых компонентах, которые потенциально могут привести к общесистемному отказу от воздействия одиночных эффектов. Переходные ионизационные реакции от одиночных эффектов являются обычным результатом воздействия одиночной высокоэнергетической частицы, например галактических космических лучей, которая передаёт избыточный заряд в полупроводниковый материал.

Срок активного функционирования космического аппарата в радиа-

ционном окружении будет зависеть от нескольких факторов, включая следующие:

- время вывода космического аппарата на орбиту (во время максимума или минимума солнечной активности);
- высота орбиты космического аппарата (низкая орбита, средняя или геостационарная околоземная орбита);
- общее время работы космического аппарата на орбите (длительность проекта);
- дополнительные факторы (конструкционное экранирование, ориентация космического корабля на орбите и т.д.).

Более детально сведения по источникам ионизирующего излучения и доминирующим радиационным эффектам в полупроводниковых элементах приводятся в работах [1] и [2].

Изготовление всех электронных подсистем с сохранением работоспособности при самом неблагоприятном радиационном сценарии является непрактичным подходом для размещённых в космосе систем.

Вместо этого системотехники должны проявлять гибкость, чтобы соответствовать конечным срокам завершения проекта, а также любым бюджетным ограничениям. Стратегия может состоять в повышении стойкости компонентов, чувствительных к одиночным эффектам, которые должны оставаться в рабочем состоянии во время циклов интенсивной радиации в критических системах.

В большинстве случаев существует приемлемая степень неопределённости, основанная на анализе факторов риска. Естественно, чем большему тестированию подвергаются различные электронные подсистемы, тем меньше существует неопределённости. Тем не менее высокая надёжность компонента с предельным уровнем радиационной стойкости обуславливает значительную стоимость и невероятно длительные сроки разработки. Проблема обостряется из-за сроков доступности компонентов, поскольку срок производственного цикла компонента должен быть соразмерным со сроком службы всей системы и её различных сборочных узлов, и это является более серьёзным беспокойством для коммерческих рынков.

Коммерциализация космоса и возникновение философии «NewSpace»

Производители сообщества «NewSpace» понимают необходимость баланса между бюджетом, ограниченным короткими сроками вывода изделия на рынок, и потенциальной избыточностью конструкции. Современная космическая промышленность нацелена на создание крупных спутниковых группировок, развёртывание систем связи и Интернета, мониторинг мореплавания, мировых лесных массивов, космический туризм, техническое обслуживание и ремонт спутников или космических кораблей, добычу полезных ископаемых на астероидах и многое другое. С 2020 года запущено более 8000 малых спутников. Множество применений в рамках «NewSpace» предполагают создание группировок компактных спутников, запущенных на низкие орбиты, с короткими сроками активного функционирования – от двух до пяти лет. Согласно данным Markets and Markets в 2023 году было потрачено на радиационно-стойкую электронику 1,7 млрд долларов США, и прогноз подразумевает рост до 2,1 млрд долларов США в 2029 году. Этот показатель включает в себя авиакосмический и оборонный рынок с учётом находящегося в процессе становления рынка «NewSpace». Ожидается повышение спроса на всю радиационно-стойкую электронику, включая контроллеры и процессоры, аналоговые/цифровые/цифро-аналоговые устройства, устройства управления электропитанием и память. Однако предполагается, что более всего будут востребованы устройства управления питанием. Специалисты по снабжению внутри этой отрасли должны свести требования к квалификационным испытаниям и риску до приемлемых уровней. В этой коммерциализации космоса неожиданно обнаруживается всё больше компаний, которые не требуют компоненты с наивысшими уровнями квалификационных испытаний, а именно компоненты, сертифицированные в соответствии с требованиями спецификации MIL-PRF-38534 Class K «Hybrid Microcircuits, General Specification For».

Сравнение изделий с предельным уровнем радиационной стойкости и изделий с повышенным уровнем радиационной стойкости

Компонент с предельным уровнем радиационной стойкости будет наиболее надёжным, а неквалифицированные компоненты коммерческого или промышленного применения окажутся наименее надёжными. Однако существует промежуточный уровень, попадающий под «радиационно-устойчивый». Изделие с предельным уровнем радиационной стойкости будет соответствовать программе обеспечения радиационной стойкости, утверждённой Управлением материально-логистического обеспечения Министерства Обороны США (Defense Logistics Agency, DLA).

Эта программа является процедурой, изначально установленной NASA и гарантирующей, что материалы и электроника, применяемые в космическом корабле, не подвергнут риску работоспособность системы при воздействии различных уровней радиации космического пространства. Процедура определяется исходя из установленных требований к программе полёта (например, срок активного функционирования), радиационных опасных факторов, оценки реакции схемы на радиационные воздействующие факторы и, в конечном счёте, классификации электронных компонентов, основанной на показателях стойкости к эффекту полной накопленной дозы, стойкости к эффектам структурных повреждений (эффектам смещения) и стойкости к одиночным эффектам. Программа обеспечения радиационной стойкости будет включать полную квалификацию преобразователя напряжения и его компонентов с анализом наихудшего случая и различные выполненные испытания на воздействие радиации в соответствии с требованиями многочисленных стандартов (например, Test Methods 1019 Conditions A, C и D Ionizing Radiation (Total Dose) Test Procedure; Test Method 1080 стандарта MIL-STD-750; Test Method 1017 Neutron Irradiation стандарта MIL-STD-750 «Test Methods for Semiconductor Devices» и MIL-STD-883 «Test Methods and Procedures for Microelectronics») с весьма жёсткими условиями отбраковки изделий.

Для изделий с предельным уровнем радиационной стойкости не допускается даже небольшой процент дефектов (0,01%). Естественно, этот уровень тестирования будет требовать значительного времени, чрезмерно увеличивая время выпуска изделий. Ещё один важный фактор, который следует учитывать, – это стоимость списка материалов; интегральная микросхема с предельным уровнем радиационной стойкости, закупленная для использования в новом радиационно-стойком преобразователе напряжения, будет иметь по крайней мере стократно большую стоимость. Изделие с повышенным уровнем радиационной стойкости будет находиться где-то посередине между совершенно непроверенным изделием коммерческого применения и изделием с предельным уровнем радиационной стойкости, и его приемлемые показатели стойкости к одиночным эффектам и другие радиационные параметры значительно варьируются в зависимости от применения.

Что означает предельный уровень радиационной стойкости для DC/DC-преобразователя

Стандарт MIL-PRF-38534 «Hybrid Microelectronics, General Specification For» Class K (уровень качества Space) для гибридных схем и многокристальных модулей гарантирует, что преобразователь и все внутренние компоненты приобретены и протестированы по наивысшим уровням надёжности. Кроме того, преобразователи, имеющие дополнительную оценку программы по гарантированию радиационной стойкости (RNA), утверждённой Управлением материально-логистического обеспечения Министерства Обороны США (Defense Logistics Agency, DLA), гарантируют, что изделие является достаточно качественным, чтобы соответствовать требованиям особых программ. Для гарантии предельного уровня радиационной стойкости преобразователя разработчики должны либо проектировать его «с нуля», обеспечивая стойкость внутренней схемы к повреждению воздействием ионизирующего излучения, либо приобретать и интегрировать радиационно-стойкие изделия. Этот подход обеспечивает преобразователю соот-

ветствие критерию компонента уровня качества Space.

Верификация этих изделий, выполняемая по одной или двум программам качества, в итоге позволяет производителю попасть в перечень квалифицированных производителей (Qualified Manufacturers Listing, QML). Основные военные подрядчики и OEM-изготовители могут иметь доступ к QML для гарантирования их изделиям соответствия требованиям к надёжности конечного применения. Многие заказчики изделий для космического применения часто будут требовать компоненты, квалифицированные по уровню Class K, однако это может значительно повысить стоимость и срок разработки системы.

Использование коммерческих компонентов широкого применения и компонентов для автомобильной промышленности в космосе

Требования к прохождению первичных радиационных испытаний были распространены даже на другие сферы, где компоненты могут сохранять работоспособность с уровнями стойкости к эффекту полной накопленной дозы ниже 2 крад (Si) и одиночным эффектам. Естественно, эти показатели значительно отличаются, например, в академическом проекте с запускаемым на низкую орбиту спутником формата CubeSat или же для команды исследователей крупного оборонного подрядчика при анализе и оценке радиационной устойчивости спутниковых подсистем. Всё зависит от уровня, который необходим в проекте. Это подобно степени требуемой безопасности к профессиональному гоночному автомобилю, чрезмерной по сравнению с автомобилем для повседневного использования; пятиточечный ремень безопасности и каркас безопасности могут быть необходимыми в болиде «Формулы-1», тогда как для обычного автомобиля будут достаточными ремни безопасности и подушки безопасности.

Всё чаще радиационная проверка, выполняемая для коммерческих компонентов широкого применения, публикует данные испытаний по радиации без позиционирования изделий как годные или дефектные. Существуют многочисленные программы по внедрению коммерче-

ских изделий широкого применения и изделий для автомобильной промышленности в космические системы без подвергания риску успеха проекта. Некоторые американские компании, такие как VPT, принимают меры в этом направлении, публикуя отчёты по радиационной стойкости изделий коммерческого или промышленного назначения без доработки, позволяя заказчику самому определять, является ли изделие достаточно радиационно-стойким для интегрирования в их систему. Порой от заказчика требуется заказывать специализированные аналоговые сверхвысокочастотные компоненты, а также процессоры и многокристальные модули большими партиями, и проводить радиационные испытания для установления пригодности партии для применения в бортовой аппаратуре космического корабля. Некоторые OEM-компании оценили эту возможность для авиакосмической промышленности и работают с независимыми испытательными учреждениями для проведения радиационных испытаний для их собственных изделий, присваивая проверенным на воздействие радиации из существующей номенклатуры изделиям новые шифры.

Компромисс: преобразователь с повышенным уровнем радиационной стойкости по программе обеспечения радиационной стойкости

Естественно, этот очевидный переход от радиационной стойкости к радиационной устойчивости требовался для более дифференцированного представления об изделиях в аппаратуре космического корабля, где изделия, являющиеся критичными для успеха программы, могут требовать большей радиационной стойкости. DC/DC-преобразователи часто считаются базовым компонентом в бортовой космической аппаратуре, снабжающим стабилизированным напряжением постоянного тока основные и вспомогательные системы. Кроме того, всё ещё существует чёткое требование для компонентов управления электропитанием быть в некоторой степени радиационно-стойкими. DC/DC-преобразователь с предельным уровнем радиационной стойкости может не являться абсолютно необходимым, но хоть какая-

то модель программы гарантирования радиационной стойкости для её обеспечения нужна.

Компания VPT нашла этот баланс, основанный на классических стандартах, утверждённых Управлением материально-логистического обеспечения Министерства Обороны США. Компания уверена в утверждённой программе, так как имеет опыт поставки гибридно-плёночных радиационно-стойких преобразователей уровня качества «Space» (Class K) с установившейся номенклатурой изделий. Информация о методике испытаний и результаты испытаний на радиационную стойкость гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей компании изложена в статье [3].

DC/DC-преобразователи серии VSC для рынка «NewSpace»

Общая информация

Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии VSC

- Выходные мощности: 5, 15, 30 и 100 Вт.
- Одно- и двухканальные модели с выходными напряжениями 3,3; 5; 12; 15; ± 12 ; ± 15 В.
- Подстройка выходного напряжения в диапазоне $+10\%$ – -20% от номинального значения.
- Широкий диапазон входных напряжений 15...50 В с допустимым отклонением до 80 В в течение 1 с (для 5-, 15- и 30-ваттных моделей); для 100-ваттных моделей: 16...40 В с допустимым отклонением до 50 В длительностью 1 с.
- Длительная работа в диапазоне температур от -55°C до $+100^\circ\text{C}$ без понижения выходной мощности.
- Фиксированная высокая рабочая частота коммутации.
- Низкий уровень шума на выходе.
- Трансформаторная развязка в контуре обратной связи.
- Обширный набор сервисных и защитных функций.

Конструкция модулей представляет собой металлический корпус, внутри которого размещена печатная плата с элементами поверхностного монтажа, защищённая конформным покрытием и компаундом с теплопроводящим наполнителем. Заливка компонентов в корпусе эпоксидным компаундом защищает все компоненты модуля от влаги, вибраций

и ударов, а также передаёт выделяемое в компонентах тепло на нижнюю и верхнюю поверхности корпуса. К тому же это уменьшает риск роста оловянных нитевидных кристаллов. Модули серии VSC подвергаются квалификационной процедуре подобно гибридно-плёночным преобразователям, включая термоциклирование (10 циклов), испытания на виброустойчивость, ударную прочность и кратковременные испытания на безотказность. Термоциклирование проводится по методу 1010.7 «Temperature Cycling» стандарта MIL-STD-883: температура окружающей среды меняется быстро и часто в диапазоне от -5°C до $+125^\circ\text{C}$ с охлаждением в воздухе. Термоциклы позволяют ускорить проявление скрытых дефектов в конструкции схем. Электротермотренировка проводится в течение 96 часов при температуре $+100^\circ\text{C}$ в динамическом режиме. Эта проверка позволяет отбраковать потенциально ненадёжные изделия. Тренировки считаются наиболее эффективным методом отбраковочных испытаний.

Для достижения соответствия требованиям применений в космической аппаратуре применяется краска и этикетки с низким уровнем газовыделения и потери массы при вакуумно-тепловом воздействии.

Модули DC/DC-преобразователей серии VSC разработаны для обеспечения приемлемого уровня радиационной устойчивости с более низкой стоимостью высоконадёжных преобразователей COTS. Модуль считается аттестованным для применения в бортовой космической аппаратуре, если он способен выдерживать воздействие ионизирующих излучений космического пространства. Естественные радиационные пояса Земли за пределами земной атмосферы состоят из ионизирующего электромагнитного излучения, а также заряженных частиц (протонов и ионов) солнечных и галактических космических лучей, которые захватываются магнитным полем Земли. Радиационные характеристики DC/DC-преобразователя основаны на стойкости к эффекту полной накопленной дозы, стойкости к эффектам структурных повреждений и стойкости к одиночным эффектам.

Преобразователи серии VSC характеризуются уровнем стойкости к эффекту полной накопленной дозы

30 крад (Si) и стойкостью к одиночным эффектам при воздействии заряженных частиц с пороговыми линейными потерями энергии (ЛПЭ) иона в полупроводнике $30 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$. Эти радиационные характеристики подтверждены сочетанием испытаний преобразователей для определения уровней стойкости к дозовым и одиночным эффектам и выбора полупроводниковых компонентов, соответствующих требованиям по стойкости к дозовым эффектам, а также проведением радиационной разбраковки по уровню накопленной дозы. Для экономии средств компоненты не приобретаются с детальной прослеживаемостью партии, как требуется стандартом MIL-PRF-38534. Вместо этого крупные партии каждого восприимчивого к радиации полупроводникового элемента приобретаются в одно и то же время, и образцы подвергаются радиационным испытаниям на стойкость к дозовым эффектам. Партии компонентов, аттестованные по результатам испытаний, затем отбираются для применения в преобразователях серии VSC.

Для гарантирования эксплуатационных характеристик изделий в условиях воздействия ионизирующих излучений космического пространства компания применяет консервативный подход к радиационным испытаниям, который успешно применялся при разработке экономичных гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей. Внутренняя программа гарантирования радиационной стойкости изделий COTS для применения в космической аппаратуре документально подтверждает технологические процессы и методы для гарантирования технических характеристик изделий COTS для бортовой космической аппаратуры при влиянии различных факторов окружающей среды космического пространства, включая стойкость к эффекту полной накопленной дозы и одиночным эффектам. Кроме того, преобразователи испытывались облучением низкой интенсивности 50 мрад (Si)/с до накопленной дозы 30 крад (Si) для определения эффекта восприимчивости к длительному воздействию низкой мощности дозы (Enhanced Low Dose Rate Sensitivity – ELDRS). Радиационная стойкость подтверждалась сочетанием определения параметра на уровне модуля и тестированием

Таблица 1. Испытания на радиационную стойкость и уровни факторов

Радиационная среда		Приёмочные радиационные испытания (RLAT) полупроводниковых элементов	Определение параметров стойкости на уровне модуля
Суммарная поглощённая доза	Высокая мощность дозы	30 крад (вид полупроводника – Si)	30 крад (Si)
Суммарная поглощённая доза	Низкоинтенсивное облучение	–	30 крад (Si)
Одиночные эффекты (SEE)	Катастрофические отказы (SEB, SEGR, SEL)	Не применяется	$\geq 42 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$
	Обратимые отказы (SET, SEU, SEF)	Не применяется	$\geq 30 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{м}$

Таблица 2. Краткое изложение программы обеспечения радиационной стойкости (RHA)

Процедура испытания	Программа RHA для изолированных DC/DC-преобразователей серии VSC
Суммарная поглощённая доза	Чувствительные полупроводниковые компоненты подвергаются испытаниям на стойкость к эффекту полной накопленной дозы до 40 крад (Si) согласно разделу Method 1019.6 Ionizing Radiation (Total Dose) Test Procedure стандарта MIL-STD-883F. Преобразователи квалифицированы до 30 крад (Si)
Длительное воздействие низкой мощности дозы (ELDRS)	Преобразователи испытывались при мощности дозы 50 мрад (Si)/с до величины 30 крад (Si)
Одиночные эффекты (SEE)	Преобразователи квалифицированы до ЛПЭ $\geq 42 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$ для катастрофических одиночных эффектов (SEL, SEB, SEGR) и для ЛПЭ $\geq 30 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$ для переходных ионизационных реакций (SET) и одиночного эффекта функционального прерывания (SEFI) при воздействии ТЗЧ
Испытание на стойкость к радиации партии компонентов (RLAT)	Все партии чувствительных полупроводниковых элементов подвергаются выборочным испытаниям по стойкости к суммарной поглощённой дозе при большой мощности дозы

образцов при воздействии облучения большой мощности отдельных партий всех чувствительных полупроводниковых элементов, используемых в модуле.

В таблицах 1 и 2 кратко представлены процедуры испытаний полупроводниковых элементов, модулей и краткое изложение программы гарантирования радиационной стойкости модулей серии VSC. Подробнее с программой гарантирования радиационной стойкости DC/DC-преобразователям серии VSC можно ознакомиться в документе [4].

Модули серии VSC содержат полный комплект сервисных и защитных функций, необходимых для эксплуатации в составе оборудования.

Функцией дистанционного включения/выключения снабжены все преобразователи серии VSC. Она обеспечивает отключение выходного каскада от нагрузки и тем самым значительно снижает ток потребления. Вход управления также может использоваться для формирования определённой последовательности включения отдельных модулей в соответствии с необходимым алгоритмом решения той или иной задачи аппаратуры или при аварийном отключении нагруз-

ки при возникновении внештатных ситуаций.

Для компенсации падения напряжения на проводах, соединяющих выход преобразователя с нагрузкой, расположенной на значительном удалении, служит выносная обратная связь по напряжению. Чтобы исключить влияние соединительных проводов, нагрузка подключается к выходу преобразователя с помощью четырёхпроводной линии. Измерительные провода подключаются к выводам +S и –S. Напряжение стабилизируется непосредственно на нагрузке. Этой функцией снабжены 30- и 100-ваттные одноканальные модели.

У одноканальных 15-, 30- и 100-ваттных моделей существует функция регулировки выходного напряжения при помощи резистора, подключаемого между выводом TRIM и +VOUT для уменьшения значения напряжения, и между выводом TRIM и OUT COM для повышения значения выходного напряжения. Максимальный диапазон регулировки составляет –20...+10% от номинального значения. Эта возможность существует и для двухканальных 100-ваттных моделей серии VSC100-2800D.

Для увеличения выходной мощности при построении систем вторичного электропитания с применением одноканальных 100-ваттных моделей VSC100-2800S имеется возможность параллельного соединения по выходу до 5 модулей с выравниванием выходных токов модулей с точностью 5%. Сервисная функция параллельного включения даёт следующие основные преимущества – увеличение мощности в нагрузке, уменьшение типоминималов модулей, повышение надёжности всей системы при параллельном соединении модулей с блокирующими диодами по схеме «ИЛИ» (N+1 – резервирование).

Наличие режима синхронизации частоты преобразования внешним синхросигналом (частота от 300 до 380 кГц) параллельно включённых модулей позволяет устранить выброс в пульсации выходного напряжения, когда выходные пульсации отдельных модулей оказываются в одной фазе. На отсутствие (за редким исключением) входа синхронизации в большинстве отечественных радиационно-стойких преобразователей, позволяющего каскадировать источники питания для получения необходимой выходной мощности, обращают внимание российские разработчики бортовой аппаратуры космических аппаратов [5]. Применение таких преобразователей напряжения в космической технике требует разработки дополнительных схем синхронизации и дополнительных обвязывающих элементов в металлокерамических корпусах, что также сказывается на массогабаритных характеристиках бортовой аппаратуры.

Функцией синхронизации рабочей частоты преобразования снабжены также 30-ваттные модули ряда VSC30.

Все модули снабжены следующим комплексом защит – от перегрузки, короткого замыкания, блокировкой при пониженном входном напряжении, плавным включением.

Защита от перегрузки по току. При неисправности в цепи нагрузки схема управления постоянным выходным током уменьшает коэффициент заполнения преобразователя для ограничения выходного тока примерно на уровне 135% его номинального значения. Преобразователь будет продолжать обеспечивать постоянный ток при любом режиме пере-



Рис. 1. Внешние виды конструкций фильтров VSCF1-28, VSCF3-28, VSCF10-28



Рис. 2. Внешний вид самого мощного фильтра VSCF20-28 с проходным током 20 А

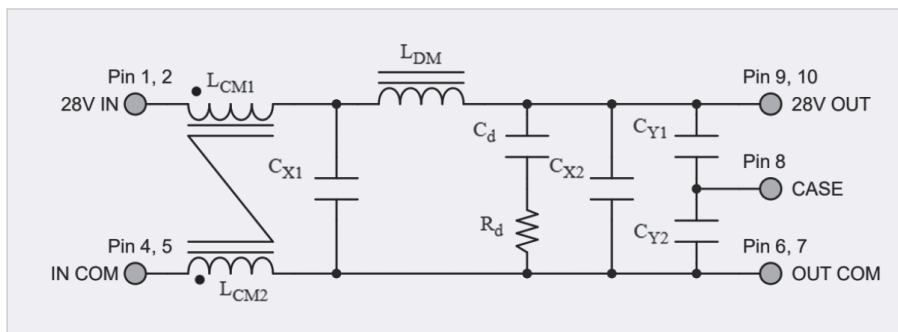


Рис. 3. Схема модуля входного фильтра VSC20-28 для подавления дифференциальной и синфазной ЭМП

грузки или коротком замыкании. Эта функция позволяет преобразователю включаться при любой ёмкостной нагрузке. Восстановление происходит автоматически и немедленно после устранения неисправности. Длительная работа при коротком замыкании и перегрузки может вызвать чрезмерное рассеивание мощности. В этом режиме должны быть приняты меры для контроля за рабочей температурой преобразователя.

Защита от пониженного входного напряжения. При входных напряжениях ниже напряжения включения преобразователь будет находиться в выключенном состоянии, потребляя минимальный ток от первичного источника. Как только входное напряжение превысит напряжение включения, преобразователь включится. Схема блокировки разработана, чтобы выдерживать медленное нарастание входного напряжения.

Функция плавного запуска используется для быстрого линейного повышения выходного напряжения в управляемом режиме, исключения выброса выходного напряжения (перерегулирование) и ограничения пускового тока при запуске. Плавный режим формирования выходного напряжения обеспечивает целостность выходного напряжения независимо

от изменений тока в нагрузке. Время установления выходного напряжения от 3 до 8 мс (зависит от конкретной модели). Функция плавного запуска активна, когда модуль включается при приложении входного напряжения или разблокировке входа дистанционного включения. При нормальных условиях ток, потребляемый от первичного источника во время включения, не будет превышать входной ток при полной нагрузке. Время задержки включения отсчитывается от подачи входного напряжения или разблокировки входа дистанционного управления до достижения выходным напряжением значения 90% его установившегося значения.

Обеспечение температурного режима

Преобразователи серии VSC обеспечивают полную мощность при температуре корпуса 100°C. Работа при температурах выше 100°C допускается при пониженной мощности. Более точно, выходная мощность должна быть снижена линейно от полной мощности при 100°C до половинной мощности при 105°C и до нулевой мощности при 110°C. Рабочая температура преобразователя измеряется на основании корпуса или крышке модуля. Преобразователи имеют пас-

сивный отвод тепла за счёт теплопроводности от основания корпуса или крышки на установленный радиатор, шасси, печатную плату или другую теплоотводящую поверхность.

DC/DC-преобразователи содержат много полупроводниковых компонентов. Максимальная температура перегрева от перехода к корпусу составляет 9, 14 или 21°C (в зависимости от модели) при полной нагрузке.

Высоконадёжные фильтры электромагнитных помех

Фильтры электромагнитных помех VSCF1-28, VSC3-28, VSC10-28 и VSC20-28 разработаны для фильтрации кондуктивных помех нескольких DC/DC-преобразователей вплоть до их номинального тока, обеспечивая соответствие требованиям стандартов MIL-STD-461 редакции C-G к уровню генерируемых кондуктивных помех – категория CE03 и CE102 и обеспечивая снижение восприимчивости к кондуктивным помехам – категория CS101. Ознакомиться с требованиями к эмиссии и восприимчивости, методами испытаний оборудования на ЭМС, установленными стандартами MIL-STD-461, можно в статье [6].

Фильтры отлично подходят для применения в космической аппаратуре, так как содержат только пассивные компоненты, устойчивые к радиационным эффектам. Конструкция корпуса обеспечивает отвод тепла на две стороны с очень низким газовыделением при вакуумно-тепловом воздействии. Внешние виды конструкций фильтров VSCF1-28, VSC3-28, VSC10-28 представлены на рис. 1. На рис. 2 показан внешний вид самого мощного фильтра с проходным током 20 А – VSC20-28. Все фильтры имеют одинаковую схему и отличаются только номиналами элементов, габаритами, весом и расположением выводов. Схема фильтра ЭМП из ряда VSCF приведена на рис. 3.

Схема совмещает фильтры дифференциальных и синфазных помех. Дроссели L_{CM} представляют собой две магнитосвязанные обмотки на одном сердечнике. Токи синфазных (симметричных) помех в линиях 28V IN и IN COM текут в одном направлении, обмотки включены согласно, чтобы магнитные потоки от этих токов суммировались и индуктивность дросселя возрастала.

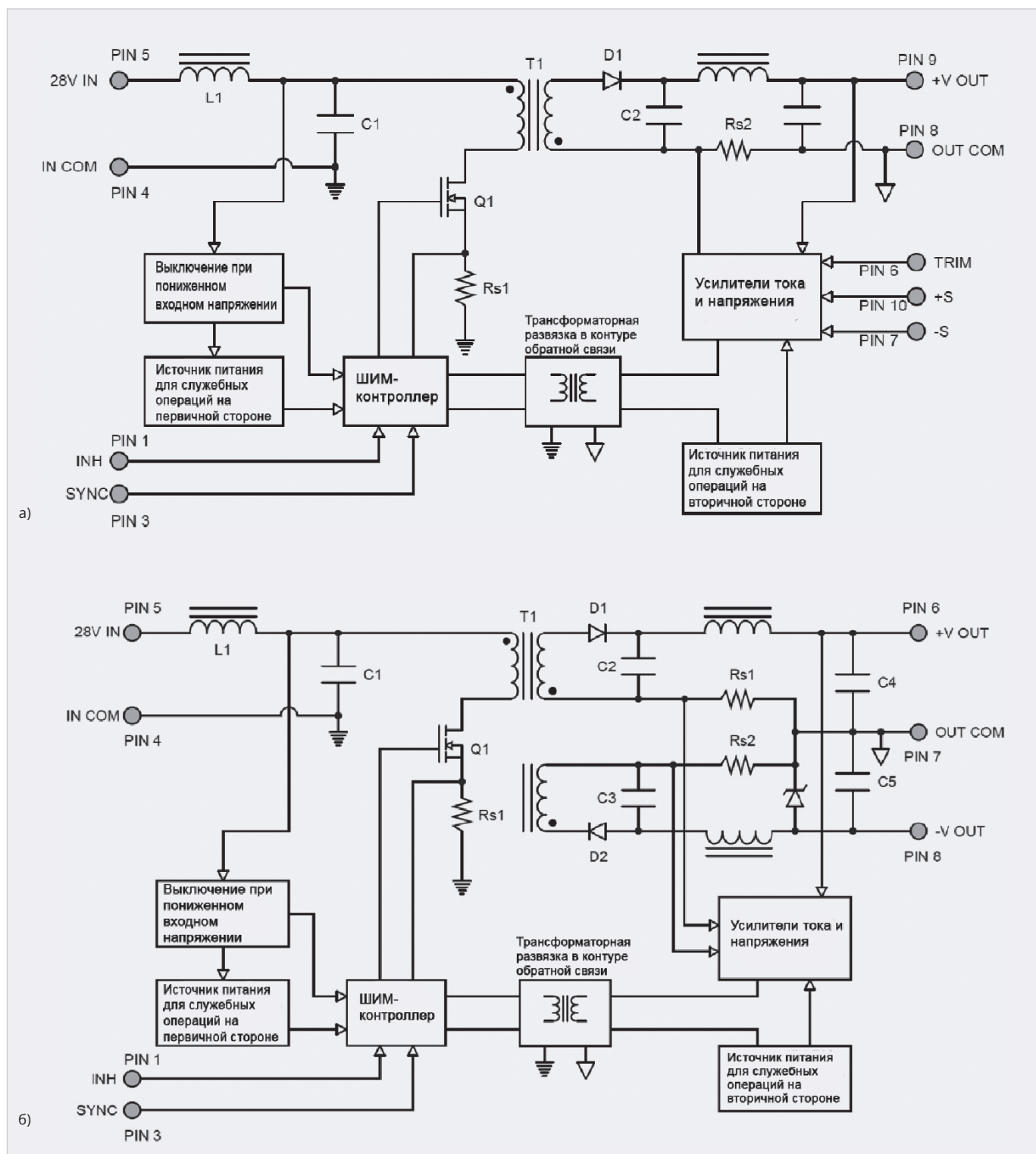


Рис. 4. Структурные схемы обратноходовых преобразователей напряжения:
 а) схема одноканальной модели серии VSC302800S; б) схема двухканальной модели серии VSC2800D



Рис. 5. Внешний вид конструкций 5-, 15- и 30-ваттных моделей.

Дроссель L_{DM} подавляет дифференциальные (несимметричные) помехи. Конденсаторы C_{X1} и C_{X2} снижают дифференциальную составляющую помехи, а C_{Y1} и C_{Y2} предназначены для подавления синфазной составляющей помехи. Входной импеданс DC/DC-преобразователя должен быть намного выше, чем выходной импеданс фильтра, – это позволяет избежать возникновения автоколебаний

и обеспечить устойчивость системы «входной фильтр – преобразователь». Выходной импеданс фильтра должен быть демпфирован, чтобы исключить увеличение его импеданса при резонансе. Демпфирование достигается использованием дополнительного конденсатора C_d и резистора R_d , включённых последовательно, что является достаточно эффективным подходом. Пара-

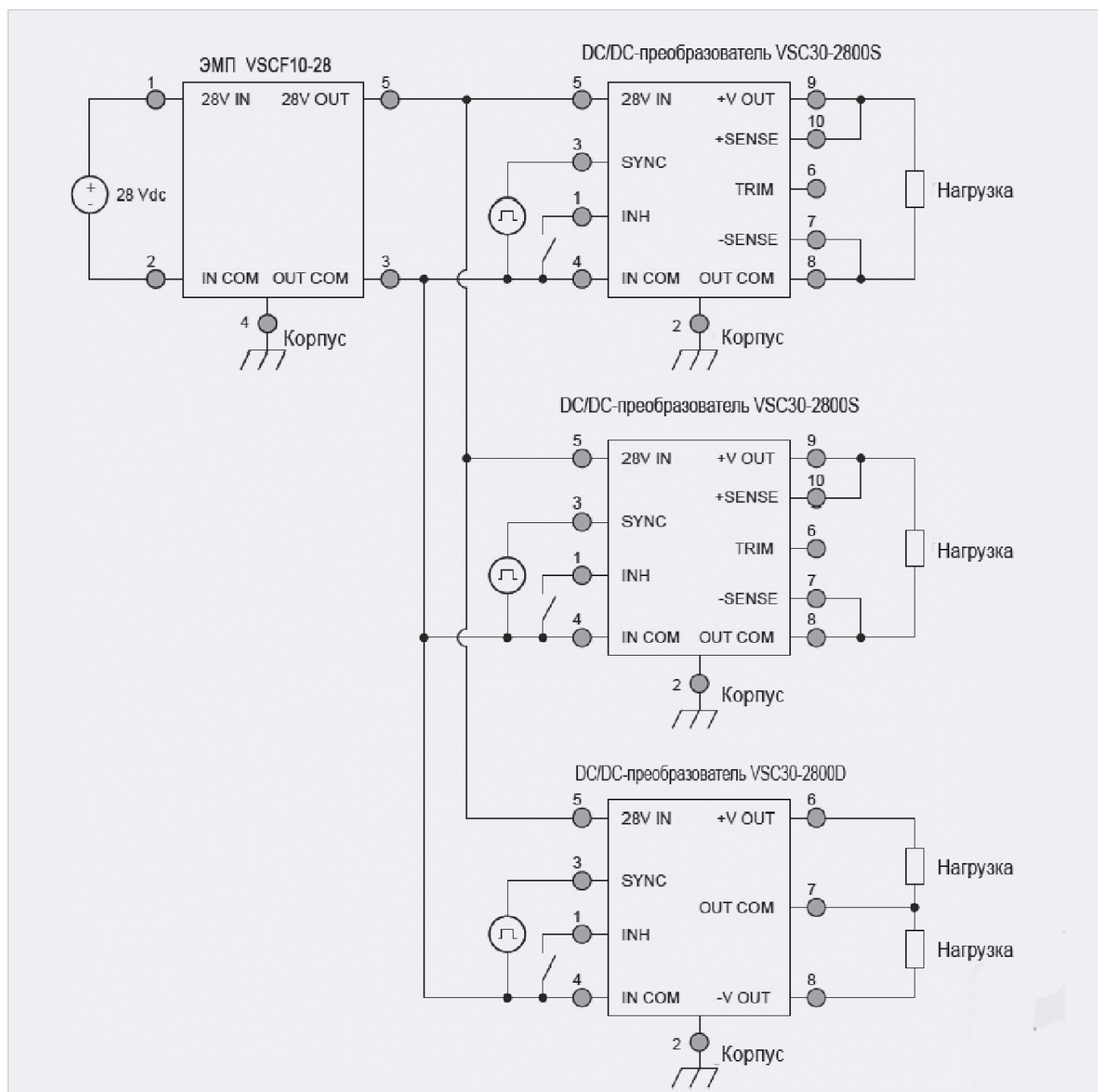


Рис. 6. Работа фильтра VSCF10-28 с тремя модулями VSC30, подключёнными к разным нагрузкам

метры фильтров рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить уменьшение выходного сопротивления, увеличение затухания и устойчивую работу системы «входной фильтр – преобразователь» на низких, средних и высоких частотах.

5-, 15- и 30-ваттные DC/DC-преобразователи серии VSC

Серии состоят из одно- и двухканальных моделей, обеспечивающих на выходе номинальные напряжения 3,3; 5; 12; 15; ±12; ±15 В и предназначенных для работы в широком диапазоне входного напряжения 15...50 В, способных выдерживать переходное откло-

нение по входу до 50 В в течение 1 с. DC/DC-преобразователи выполнены по схеме обратного преобразователя с регулированием выходного напряжения методом широтно-импульсной модуляции с высокой постоянной рабочей частотой от 400 до 550 кГц (типичное значение 500 кГц) с двумя контурами регулирования: основной контур служит для стабилизации выходного напряжения в зависимости от уровня выходного напряжения, внутренний контур регулирования используется для прямого регулирования амплитуды тока дросселя посредством сигнала ошибки. Все модули выполнены по одной схеме,

упрощённая структурная схема одноканальной версии представлена на рис. 4а, схема двухканального исполнения показана на рис. 4б.

Токоевое управление позволяет увеличить рабочую частоту преобразователя без потери устойчивости и значительно улучшить переходную характеристику преобразователя при резких изменениях нагрузки или входного напряжения, а также обеспечить поцикловое ограничение тока, поскольку ток измеряется в каждом цикле переключения. Энергия первичного источника передаётся на вторичную сторону через трансформатор Т1.

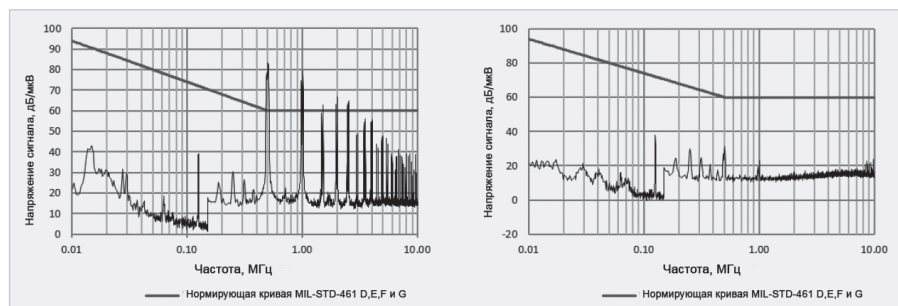


Рис. 7. Частотные характеристики кондуктивных помех на входе преобразователей VSC30 без включённого фильтра и с включённым фильтром VSCF10-28

В контуре обратной связи применяется запатентованная трансформаторная развязка. В выходных каскадах преобразователей используется асинхронный метод выпрямления выходного напряжения с помощью диодов Шоттки.

В настоящее время для существенного повышения КПД в обратноходовых преобразователях, как правило, используются активные схемы ограничения напряжения на элементах схемы, для этого вводится дополнительная цепь, включающая дополнительный MOSFET-транзистор и резонансный конденсатор. Но применение дополнительного MOSFET, который является чувствительным к воздействию одиночных заряженных частиц и, открываясь при воздействии радиации, формирует короткозамкнутую цепь от первичного источника напряжения с низким выходным импедансом на землю, повышает риск отказа модуля при воздействии радиации. Для ограничения напряжения при отключении силового ключа в рассматриваемых обратноходовых преобразователях применяется интегрированный ограничитель напряжения без рассеяния энергии (на схеме не показан). Такой ограничитель позволяет существенно снизить потери на выключение силового ключа и обеспечить рекуперацию в сеть энергии, накопленной в ограничительном конденсаторе или индуктивности намагничивания трансформатора обратноходового преобразователя. Это решение позволяет обеспечить приличные энергетические показатели – 30-ваттный модуль с выходным напряжением 5 В VSC30-2805S характеризуется значением КПД 81% и удельной мощностью 1941 Вт/дм³. Внешний вид конструкций преобразователей показан на рис. 5. 15- и 30-ваттные моде-

ли выполнены в корпусах с вертикальным расположением выводов относительно плоскости основания для сквозного и объёмного монтажа. Гладкие втулки, размещённые по двум противоположным углам корпуса, служат для дополнительного крепления модуля, они позволяют притянуть основание корпуса модуля к радиатору. 5-ваттные модули предназначены для сквозного монтажа. Габаритные размеры 5-ваттных модулей 28,19×28,19×8,98 мм, вес 23 г; 15-ваттные модели имеют габариты 28,19×28,19×8,98 мм, вес 32 г; 30-ваттные: 47,88×33,66×8,98 мм, вес 48 г.

30-ваттные модули имеют функцию синхронизации частоты преобразования внешним синхросигналом (от 500 до 600 кГц). Частота синхронизации больше рабочей частоты ШИМ-контроллера (от 400 до 550 кГц) для обеспечения устойчивой работы преобразователя. Использование измерительных входов обратной связи +SENSE и –SENSE, соединённых с нагрузкой по четырёхпроводной схеме, позволяет обеспечить требуемое напряжение непосредственно на контактах нагрузки путём компенсации падения напряжения на проводниках.

Схема включения трёх модулей VCS30, работающих на разные нагрузки с использованием выводов обратной связи и одним фильтром VSC10-28 на входе показана на рис. 6. Выводы для подключения внешнего сигнала синхронизации используются при работе на заданной частоте. Эффективность работы фильтра ЭМП при совместной работе с тремя 30-ваттными преобразователями можно оценить по графикам, представленным на рис. 7.

Функция точной настройки выходного напряжения у 15- и 30-ваттных моделей допускает подстройку выходного напряжения у одноканальных

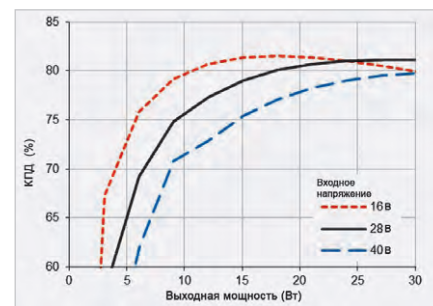


Рис. 8. Зависимость КПД от выходной мощности одноканальной модели VSC30-2805S

моделей на величину –20...+10% от номинального значения выхода подключением подстроечного резистора между выводом TRIM и выходным напряжением или общим проводом, в зависимости от направления регулировки. Функция дистанционного управления включением/выключением 15- и 30-ваттных модулей позволяет организовать определённый алгоритм подачи питания к отдельным узлам, что повышает гибкость применения преобразователей в аппаратуре.

Микросхема широтно-импульсной модуляции (ШИМ) является основным узлом преобразователей напряжения и определяет эффективность импульсного преобразователя, обеспечивает режим с обратной связью по напряжению и дополнительной обратной связью по току дросселя. Но ШИМ-контроллер наряду с ключевым элементом (MOSFET) является наиболее чувствительным к одиночным ионизационным эффектам узлом. Предпочтительно применение ШИМ-контроллеров, выполненных по биполярной технологии, или реализация схемы управления на универсальных микросхемах среднего уровня интеграции (компараторах, операционных усилителях), выполненных по биполярной технологии в полимерном (композит) корпусе.

Зависимость КПД от выходной мощности для одноканальной модели VSC30-2805S для различных входных напряжениях показана на рис. 8. Небольшое уменьшение КПД для режима с входным напряжением 16 В при максимальной выходной мощности объясняется ростом потерь в элементах модуля при подходе к их предельным энергетическим возможностям. Типовая зависимость КПД от выходной мощности позволяет

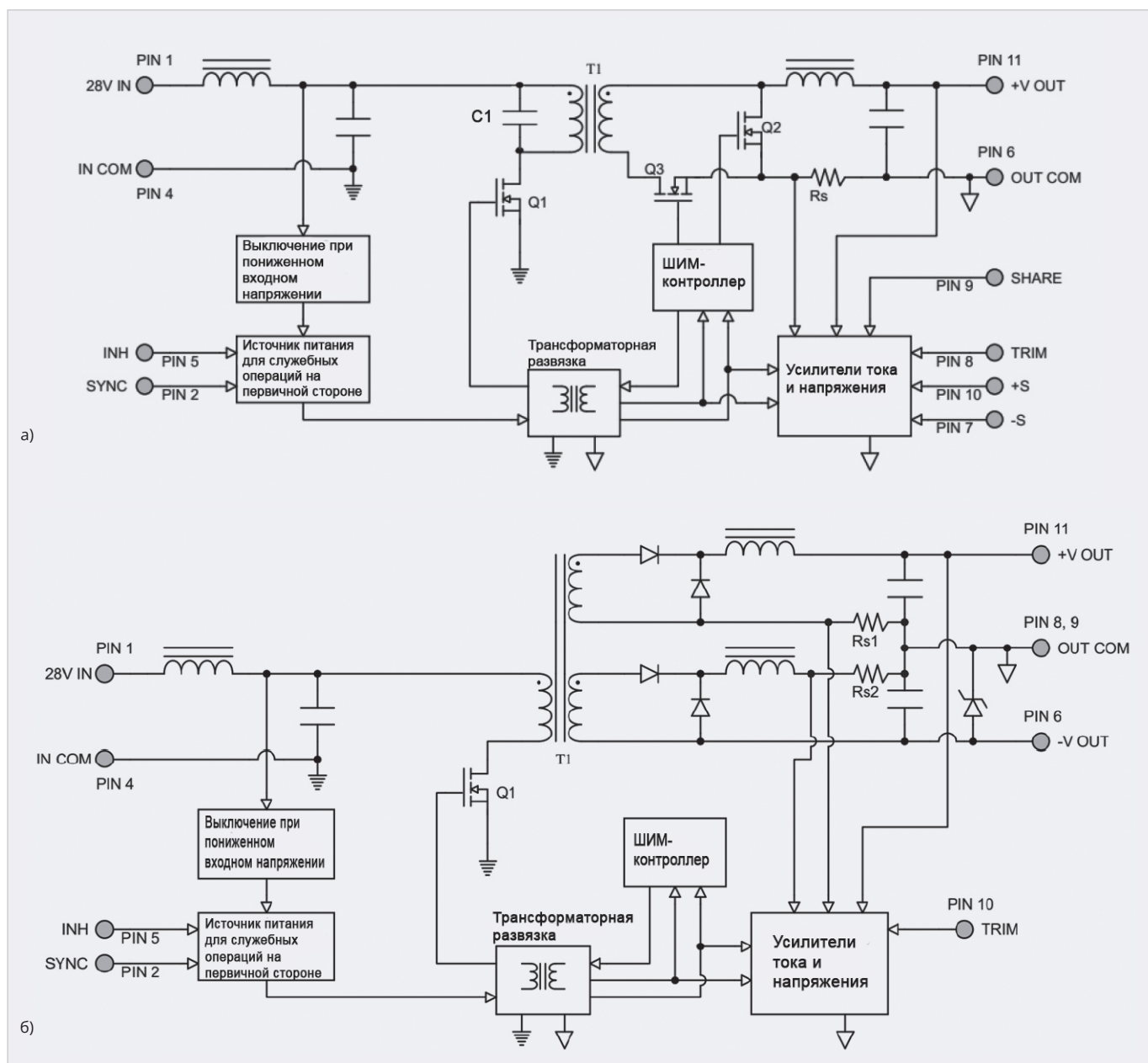


Рис. 9. Структурные схемы преобразователей:

а) одноканальная модель серии VSC1002800S; б) двухканальная модель VSC1002800D

выбрать оптимальный режим работы модуля в соответствии с условиями применения.

Модули могут работать в большинстве применений без использования внешних компонентов в соответствии с параметрами, приведёнными в спецификации. Встроенные на входе и выходе LC-фильтры обеспечивают низкий уровень пульсаций и помех. Для дополнительного уменьшения пульсаций выходного напряжения и шумов на выходе могут быть установлены небольшие керамические конденсаторы с ёмкостями от 1 до 10 мкФ. В некоторых особых применениях с повышенными требованиями к пульсациям необходимо установить дополнительную ёмкость.

Значения максимальной ёмкости на выходе, например, для одноканальной 15- и 30-ваттной модели составляет 1000 мкФ.

Так как преобразователи изолированные, выход может быть сконфигурирован как с положительным, так и отрицательным напряжением. Выходы нескольких преобразователей могут быть соединены последовательно для обеспечения более высоких напряжений. Когда выходы нескольких модулей соединены последовательно, они, естественно, совместно используют нагрузку. Например, два преобразователя VSC30-2812S могут быть соединены последовательно для обеспечения напряжения 24 В при 60 Вт.

100-ваттные DC/DC-преобразователи ряда VSC100

Преобразователи предназначены для преобразования напряжения питания бортовой сети с диапазоном изменения от 16 до 40 В в стабилизированные напряжения 3,3; 5; 12; 15; ±12 и ±15 В. Для входного напряжения допустимо переходное отклонение до 50 В длительностью 1 с.

В настоящее время преобразователи напряжения с выходной мощностью 100 Вт для повышения КПД обычно выполняют по схеме прямоходового преобразователя с активным ограничением, мягким переключением силовых транзисторов и выходным синхронным выпрямителем.

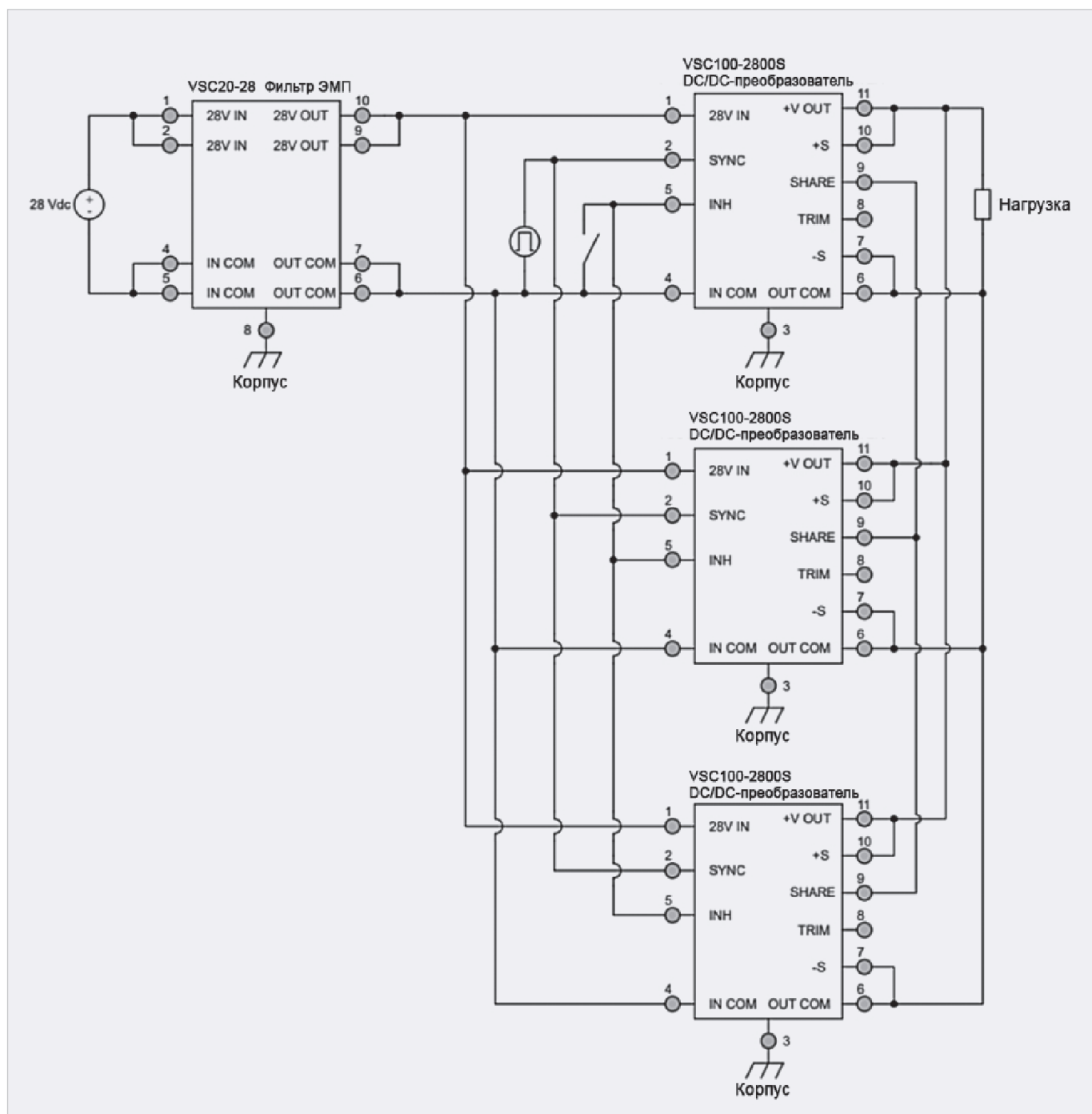


Рис. 10. Параллельное соединение нескольких модулей с равномерным распределением тока (подключение внешнего синхросигнала – обязательно)



Рис. 11. Внешний вид корпуса 100-ваттного преобразователя напряжения серии VSC100

лем. Для этого в схему вводится цепь восстановления из вспомогательного транзистора MOSFET и резонансного конденсатора.

Для исключения из схемы критичного к воздействию радиации элемента – транзистора MOSFET, который при выходе из строя создаёт короткозамкнутый путь от источника входного напряжения с низким импедансом на землю, применяется структура прямоходового преобразователя с одним силовым ключом и резонансным размагничиванием сердечника трансформатора. Структур-

ная схема одноканального преобразователя напряжения VSC100-2800S показана на рис. 9а, двухканальной модели – на рис. 9б. Отсутствие размагничивающей обмотки упрощает конструкцию плоского трансформатора, а синусоидальная форма напряжения, формируемая резонансной цепью размагничивания, позволяет снизить уровень электромагнитных потерь.

Трансформатор перемагничивается симметрично в двух квадрантах практически с полным двойным размахом индукции. Эффект двухква-

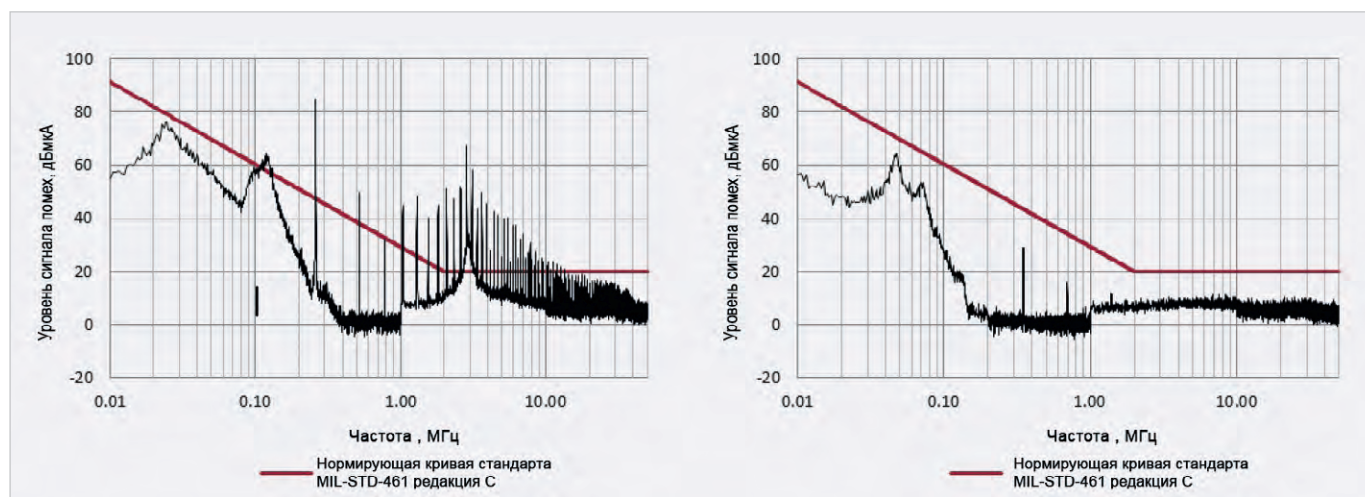


Рис. 12. График напряжения помех на входе преобразователя напряжения VSC100-2800S:
а) без применения на входе фильтра; б) с установленным на входе модулем фильтрации

дрантного перемагничивания трансформатора достигается включением конденсатора С1 к первичной или вторичной обмотке. Данный эффект подробно описан в статье [7]. Детальный пример разработки преобразователя с резонансным размагничиванием приведён в работе [8].

Для повышения КПД в схеме используется синхронное выпрямление с активным управлением. Микросхема ШИМ-контроллера со встроенным источником опорного напряжения размещена на вторичной стороне преобразователя. Этот контроллер передаёт через импульсный трансформатор ШИМ-сигналы на схему, расположенную на первичной стороне и обеспечивающую запуск преобразователя и управление силовым ключом. Сигналы управления транзисторами Q2 и Q3 поступают от цепей контроля первичного ключа Q1. Управление синхронным выпрямителем посредством контроллера позволяет исключить перекрытие зон открытого состояния двух ключей введением задержки между сигналами управления синхронных ключей, избежать сквозной проводимости транзисторов синхронного выпрямителя и не допустить короткого замыкания обмотки трансформатора. Перенос микросхемы ШИМ-контроллера на вторичную сторону преобразователя уменьшает длительность фронтов управляющих напряжений на затворах транзисторов синхронного выпрямителя, что также способствует увеличению КПД. Отсутствие обмотки размагничивания в преобразователе с резонансным размагничиванием позволяет

легче выполнять трансформатор по планарной технологии, что обеспечивает уменьшение объёма, массы преобразователя (79 г) и повышение его КПД. Значение КПД модуля VSC100-2815S – 89%, удельная мощность – 4803 Вт/дм³.

Передача ШИМ-сигналов с выхода на вход через трансформатор не приводит к введению каких-либо полюсов или постоянных времени в цепь обратной связи контура регулирования. В результате достигается максимально возможное быстродействие контура регулирования и упрощается задача обеспечения его устойчивости независимо от уровня входного напряжения, тока нагрузки, времени работы или температуры.

Функция регулировки выходного напряжения позволяет получить нестандартное значение питающего напряжения подключением резистора между специализированным выводом и выходом положительного напряжения или общим проводом, в зависимости от направления регулировки. Максимальный диапазон регулировки выходного напряжения –20...+10% относительно номинального значения. Этой функцией снабжены одно- и двухканальные модели. Для увеличения выходной мощности предусмотрена возможность параллельного соединения до 5 модулей с выравниванием выходных токов модулей с точностью 5% (рис. 10). Синхронизация частоты параллельно включённых модулей внешним синхросигналом (частота от 240 до 325 кГц) позволяет уменьшить пульсации потребляемого тока и выброс в пульсации выходного

напряжения, когда выходные пульсации отдельных модулей оказываются в одной фазе. Передача входного синхросигнала через развязывающий трансформатор на вход ШИМ-контроллера позволяет уравнивать потенциал синхросигнала с «сигнальной землёй» ШИМ-контроллера, что исключает помехи от силовых цепей, уменьшается длительность фронтов управляющих напряжений на затворах транзисторов выпрямителя, что ещё больше увеличивает КПД.

Размеры корпуса с вертикальным расположением выводов относительно плоскости основания для сквозного и объёмного монтажа 50,8×39,37×10,41 мм, вес 79 г. Внешний вид конструкции преобразователя серии VSC100 показан на рис. 11. Гладкие втулки, размещённые по углам корпуса, служат для дополнительного крепления модуля, они также позволяют притянуть основание корпуса модуля к радиатору.

Модули способны длительно стабильно работать при рабочих температурах от –55°C до +100°C без понижения мощности. Среднее время наработки на отказ модулей серии VSC100-2800S, рассчитанное по военному справочнику MIL-HDBK-217F для условий орбитального полёта (Space Flight, SF) для температуры корпуса +55°C, составляет 12 200 000 ч.

Для обеспечения соответствия требованиям стандарта MIL-STD-461 к уровню излучаемых кондуктивных помех на входе преобразователей предлагаются радиационно-устойчивые пассивные фильтры электромагнитных помех VSCF10-28 и VSCF20-28 с проходными токами 10 и 20 А, обеспе-

чивающие ослабление помех с коэффициентом 55 дБ на частоте 500 кГц.

Эффективность фильтра электромагнитных помех VSC20-28 можно оценить по графикам напряжения помех на входе одноканального модуля VSC100-2800S без применения фильтра (рис. 12а) и с установленным фильтром (рис. 12б). При использовании фильтра на входе преобразователя уровни помех значительно ниже нормирующей кривой во всём диапазоне частот от 10 кГц до 10 МГц.

Заключение

Многочисленные программы «NewSpace» снижают барьеры в космос созданием шкалы приемлемой радиационной стойкости и риска, таким образом ускоряя принятие новой технологии и предоставляя возможность более многочисленным научным исследованиям и разработкам в космической промышленности.

Компания VPT специализируется в производстве преобразователей напряжения уровня качества Space с глубоким пониманием того, как это осуществить, сделать эти компоненты радиационно-устойчивыми на уровне элемента вплоть до законченного преобразователя.

Для того чтобы соответствовать изменяющимся запросам космической промышленности, компания предлагает радиационно-устойчивые преобразователи, которые обеспечивают оптимизированную по стоимости альтернативу преобразователям с предельным уровнем радиационной стойкости, наряду с этим также применяя фундаментальную программу гарантирования радиационной стойкости (Radiation Hardness Assurance) для обеспечения необходимого качества.

В России всё ещё сохраняется практика комплектации бортовой аппаратуры космических аппаратов для систем связи, использующих низкие орбиты, электронными компонентами с военной приёмкой общего назначения или индустриального уровня качества, проведения входного контроля и большого цикла дополнительных испытаний, затраты на которые во много раз превышают стоимость самих компонентов. Особенно это касается устойчивости к воздействию ионизирующих излучений космического пространства – по дозовым и единичным эффектам.

При этом приобретение новых партий требует проведения полно-

го спектра необходимых испытаний. В результате всей этой работы вероятность отказа компонентов из выбранной партии лишь несколько снижается. Опыт эксплуатации КА на орбите подтверждает это. Отказов в аппаратуре, укомплектованной прошедшими отбор элементами, более чем достаточно. Сохранить работоспособность аппаратуры позволяет только многократное резервирование, снижающее удельные характеристики КА.

Структуры серийных преобразователей напряжения общего назначения, выпускаемых рядом ответственных предприятий, пригодны для изготовления их в варианте с повышенным уровнем радиационной стойкости для применения в перспективных спутниковых системах связи на базе целой плеяды (более 500 спутников до 2029 года и позднее) космических аппаратов, которые будут развёрнуты на низкой круговой орбите высотой 750 км. При этом перенос акцентов с крупных и тяжёлых КА на малогабаритные космические аппараты является одним из возможных направлений сокращения затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию КА.

НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

NASA проводит генеральную репетицию запуска Artemis II – первого пилотируемого облёта Луны за 53 года

NASA начало двухдневный тренировочный обратный отсчёт перед заправкой ракеты Space Launch System (SLS) – ключевой этап подготовки к первой пилотируемой лунной миссии за более чем полвека. Испытание должно подтвердить готовность ракеты и наземной инфраструктуры к старту экипажа из четырёх астронавтов в рамках программы Artemis.

Генеральная репетиция и подготовка экипажа

Командир миссии Рид Уайзман и его экипаж находятся на карантине, чтобы минимизировать риск инфекции перед полётом. Астронавты наблюдают за тестами из Хьюстона и отправятся в Космический центр имени Кеннеди после официального допуска ракеты к старту.

SLS была доставлена на стартовую площадку около двух недель назад. В ходе тренировки инженеры заправят ракету более

чем 700 000 галлонов сверхохлаждённого топлива и остановят обратный отсчёт за несколько десятков секунд до запуска двигателей, имитируя реальные условия старта.

Окно запуска и погодные ограничения

Из-за экстремально низких температур демонстрация заправки была перенесена на два дня. При успешном завершении теста NASA может попытаться запустить ракету в течение ближайшей недели, при этом 8 февраля рассматривается как один из ранних возможных стартовых сроков.

Профиль миссии Artemis II

Экипаж разместится в корабле Orion на вершине SLS и выполнит высокоскоростной облёт Луны без посадки, после чего вернётся на Землю с приводнением в Тихом океане. Продолжительность миссии оценивается почти в 10 дней. В составе экипажа – астронавты США и Канады.

Исторический контекст

Последний пилотируемый полёт к Луне состоялся в 1972 году в рамках программы «Аполлон». С 1968 по 1972 годы NASA отправило к Луне 24 астронавта, 12 из которых высаживались на поверхность. Мис-



сия Artemis II станет первым возвращением человека к лунной орбите в XXI веке и важным шагом к будущей посадке астронавтов в рамках Artemis III.

Заменяв некоторые критичные полупроводниковые элементы компонентами с подтвержденной радиационной стойкостью, можно гарантировать необходимый уровень радиационной стойкости для законченного преобразователя напряжения.

Российская электронная промышленность выпускает для разработки и изготовления источников питания все необходимые элементы: MOSFET-транзисторы в малогабаритных корпусах для поверхностного монтажа, выполненные из композиционных полимерных материалов, микросхемы ШИМ-контроллеров, микросхемы драйверов затворов MOSFET-транзисторов, микросхемы источников опорного напряжения, быстродействующие диоды и диоды Шоттки, а также многое другое.

Необходимо только организовать совместную работу с производителями электронных компонентов в части проведения испытаний компонентов на радиационную стойкость и мелкосерийное производство источников питания с повышенным уровнем радиационной стойкости.

Использование изделий высокой надёжности со специфицированными показателями радиационной стойкости позволяет повысить удельные характеристики космического аппарата, его надёжность и снизить затраты на комплектацию при производстве космической аппаратуры.

Литература

1. Чумаков А.И. Радиационные эффекты в интегральных схемах. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2024. 384 с.
2. Радиационная стойкость изделий ЭКБ: Научное издание / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.И. Чумакова. М.: НИЯУ МИФИ, 2015.
3. Сэйбл Д., Скотт Г., Лесли Л. Дж., Рейнуотер С.Л. Экономичные гибридные DC/DC-преобразователи. Характеристики устойчивости к радиационному воздействию // Компоненты и технологии. 2012. № 7.
4. Witcher B. White Paper. Radiation Hardness Assurance: VPT[®] Approach to NewSpace DC-DC Converter Reliability. The VSC Series: Balancing Affordability and Performance.

URL: <https://www.vptpower.com/resources/whitepapers/radiation-hardness-assurance-vpts-approach-to-newspace-dc-dc-converter-reliability>.

5. Краснов М., Лукьянов Е., Авсюкевич Д., Надоров И. Специализированные источники вторичного электропитания для космической промышленности // Силовая электроника. 2023. № 2.
6. Петун Г. Что нужно знать об испытаниях на выполнение требований ЭМС для изделий военного и аэрокосмического назначения. Краткий обзор // Компоненты и технологии. 2017. № 8.
7. Гончаров А.Ю. Эффект двухквантового перемагничивания трансформатора классического прямоходового преобразователя // Электронные компоненты. 2007. № 3.
8. Герасимов А.А., Кастров М.Ю. Разработка прямоходового преобразователя напряжения с одним силовым ключом и резонансным размагничиванием // Практическая силовая электроника. 2011. № 41.





АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЭЛЕКОНД

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

<p>Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>3,2 ... 485 1,0 ... 470 000 -60 ... 125</p>	
<p>Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>3,2 ... 200 1,5 ... 60 000 -60 ... 175</p>	
<p>Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>2,5 ... 63 0,033 ... 2 200 -60 ... 175</p>	
<p>Суперконденсаторы K58-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, Диапазон температур среды и эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>2,5 ... 2,7 1,0 ... 4 700 -60 ... 65</p>	
<p>Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>5,0 ... 48 0,08 ... 783 -60 ... 65</p>	

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53
e-mail: elecond-market@elcudm.ru, www.elecond.ru



Реклама

Адаптеры Bullet – ключевой элемент соединителей SMPM, SMPS и SM4P с предельной частотой до 100 ГГц

Кива Джуринский, Виктор Кустов

Рассмотрена история создания и необходимость применения фиксированных и подпружиненных адаптеров розетка – розетка Bullet с верхней частотой применения 65 ГГц и 100 ГГц. Объяснены причины появления аксиальной и радиальной несоосностей при соединении печатных плат и модулей СВЧ. Приведены виды и основные параметры адаптеров Bullet 18 зарубежных компаний США, Европы, Китая и Тайваня. Статья написана по материалам доступной зарубежной информации.

1. Введение

Первая публикация одного из авторов этой статьи об адаптерах Bullet (далее Bullet) датирована январём 2014 года [1]. В ней были подробно рассмотрены конструкция, параметры, области применения адаптеров типа GPO (SMP) с верхней частотой применения 40 ГГц многих зарубежных компаний.

С тех пор прошло 11 лет. Требования миниатюризации изделий СВЧ и повышения верхней частоты применения стали ещё более актуальными. В связи с этим всё больше начали применять миниатюрные аналоги соединителей GPO (SMP): GPPO (SMPM, Mini SMP) с верхней частотой применения 65 ГГц, изредка – G3PO с верхней частотой 100 ГГц. Ключевым элементом этих миниатюрных серий по-прежнему является адаптер розетка – розетка Bullet [2, 3].

Данная статья посвящена рассмотрению адаптеров Bullet, входящих в серии соединителей с верхней частотой применения 65 ГГц и 100 ГГц,



Рис. 1. Адаптеры Bullet компании Corning/Gilbert

2. Немного истории

История создания и эволюции соединителей SMP связана с компанией Gilbert Engineering [2]. В 1984 году эта компания разработала первый соединитель GPO (Gilbert Push-On) с предельной частотой 40 ГГц, в котором соединение вилки и розетки осуществлялось защёлкиванием (Push-On, Snap-On) разных вариантов: полное защёлкивание (Full Detent), ограниченное защёлкивание (Limited Detent) и упругое скольжение (Smooth Bore). В серию этих соединителей вошли и адаптеры Bullet.

В 1990 году эта компания создала миниатюрную (на 30%) версию соединителя GPO – соединитель GPPO с предельной частотой 65 ГГц. В 2003 году компания Gilbert Engineering, уже в составе компании Corning Inc., разработала третью версию соединителей Push-On – G3PO с предельной частотой 100 ГГц, на 45% миниатюрнее соединителей GPO.

Четвёртую версию – самые миниатюрные соединители G4PO с предельной частотой 60 ГГц – компания Corning Gilbert создала в 2010 году. Во все серии новых соединителей входят адаптеры Bullet (Blind Mate Interconnect). На рис. 1 показаны внешний вид адаптеров Bullet компании

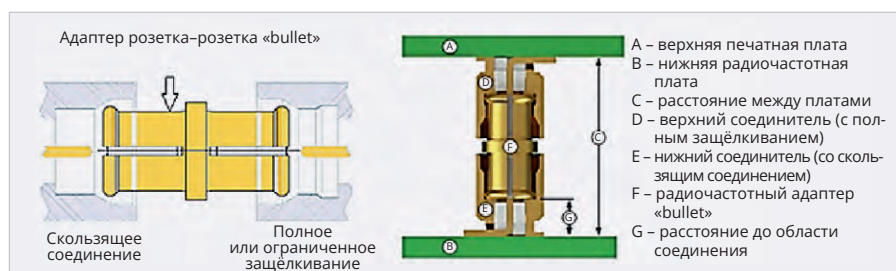


Рис. 2. Внешний вид SMP, SMPM и SMPS адаптеров Bullet

Corning Gilbert, их обозначение и верхняя частота применения [2, 3].

В дальнейшем адаптеры GPPO и G3PO начали выпускать компании США, Европы и Юго-Восточной Азии, присваивая им свои фирменные названия: GPPO, SSMP, SMPM, Mini SMP; G3PO, SMPS, SMP3, WSMP, SMPW, Micro SMP; G4PO, SM4S. Общепринятое название соединителей – SMPM, SMPS и SM4S.

3. Необходимость в адаптерах Bullet с частотой 65 и 100 ГГц

Соединение двух печатных плат или модулей с помощью адаптеров Bullet SMPM и SMPS в диапазоне частот DC-65 ГГц и DC-100 ГГц происходит способом, предложенным более 40 лет тому назад американской компанией Gilbert (здесь и далее в тексте DC – Digital Current – постоянный ток) [1, 2]. Было найдено оптимальное решение: на каждой из соединяемых печатных плат или на выходе модулей устанавливали соединители вилка и производили соединение плат в диапазоне частот DC-40 ГГц при помощи адаптера розетка – розетка SMP Bullet (в переводе на русский язык – «пуля») без использования радиочастотных кабелей (рис. 2) [4]. Выбирая Bullet разной длины, можно было точно устанавливать расстояние между двумя платами.

При соединении плат и модулей центральные проводники вилок, установленных на каждую из плат или модулей, входят в цанговые контакты адаптера Bullet. При этом одну из вилок выполняют с полным или огра-

ническим защёлкиванием, а другую – с упругим скользящим соединением с Bullet. Поэтому при рассоединении с небольшим усилием Bullet оставался в вилке с защёлкиванием.

Однако развитие микроэлектроники СВЧ и создание сложных, многофункциональных устройств и многопортовых объединительных плат для повышения плотности компоновки и скорости передачи данных потребовало дальнейшей миниатюризации и повышения диапазона рабочих частот. Этим требованиям в полной мере отвечали созданные ранее соединители серий SMPM, SMPS, в состав которых входят адаптеры Bullet. Соединители SMPM на 30% миниатюрнее соединителей SMP и имеют предельную частоту 65 ГГц. Соединители SMPS на 45% миниатюрнее соединителей SMP, и их предельная частота 100 ГГц [3].

4. Фиксированные и подпружиненные адаптеры Bullet SMPM и SMPS

Внешний вид фиксированных и подпружиненных SMP-, SMPM- и SMPS-адаптеров Bullet показан на рис. 3 [4, 5]. Фиксированные адаптеры Bullet (Fixed Bullets – адаптеры фиксированной длины) обеспечивают стабильные параметры соединения с печатной платой, если радиальная и осевая несоосности не превышают 0,25 мм. В устройствах с осевым смещением более 0,25 мм фиксированный адаптер неизбежно создаёт зазор в сопрягаемом интерфейсе, что негативно сказывается на КСВН.

Подпружиненные адаптеры Bullet (Compressive, Spring Loaded Bullets) были разработаны для обеспечения стабильных электрических параметров независимо от уровня сжатия пружины. Подпружиненная конструкция обеспечивает более полное прилегание адаптера Bullet к соединителям,

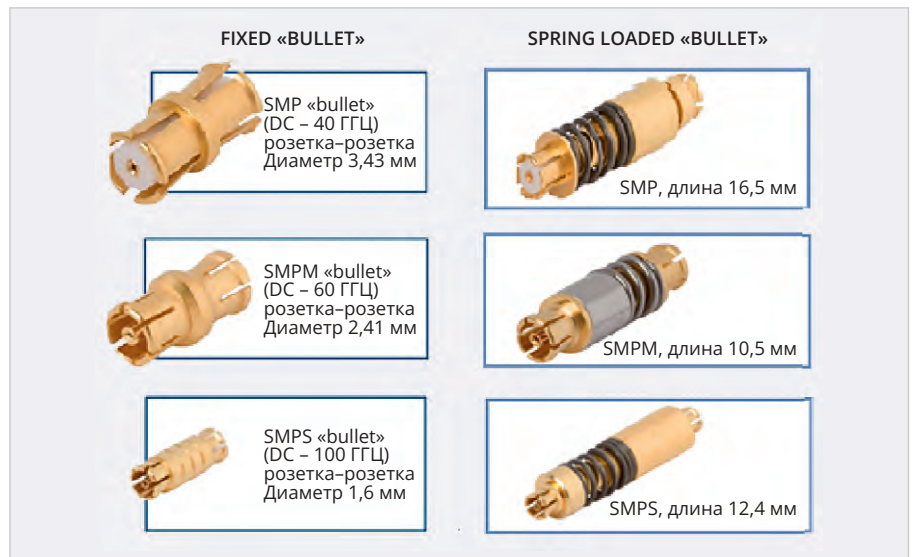


Рис. 3. Внешний вид SMP, SMPM и SMPS адаптеров Bullet

установленным на печатной плате, и в модулях СВЧ.

Фиксированные и подпружиненные адаптеры Bullet показаны на рис. 4 [4]. Подпружиненные адаптеры предназначены для компенсации большего осевого смещения при соединении радиочастотных плат, чем фиксированные адаптеры. Они обеспечивают постоянный контакт, что гарантирует стабильные электрические характеристики соединения. Благодаря способности компенсировать осевое смещение подпружиненные адаптеры SMPM чаще всего используются в групповых системах с высокой плотностью монтажа, где требуется много каналов.

Осевое и радиальное смещения при соединении печатных плат и модулей СВЧ

Из-за допусков на механическую обработку и установку соединителей расстояние между опорными плоскостями в разных местах платы различается. Чрезмерное осевое смещение может привести к ухудшению электрических характеристик, в то время как ограни-

ченное осевое расстояние создаёт проблемы при сборке. Для этого требуется адаптер, который может перемещаться в осевом направлении, чтобы обеспечить плотное прилегание электрической опорной плоскости (рис. 5) [4–6].

Способность адаптеров SMPM и SMPS сохранять электрические параметры при осевой и радиальной несоосности является одним из главных факторов их применения. При правильной установке адаптера и соединителей SMPM и SMPS выдерживаются гарантированные спецификациями осевая несоосность $\pm 0,25$ мм и радиальная несоосность $\pm 0,25$ мм (угол расхождения не более 3–4 градусов) [4–6].

Анализ совокупных допусков на размеры данного устройства необходим для выбора подходящего межплатного адаптера Bullet, поскольку он рассчитан на работу в пределах допустимых значений аксиального и радиального смещений. Если допуски на размеры находятся в пределах этих значений, электрические характеристики будут соответствовать спецификациям на адаптеры. Если допуски выходят

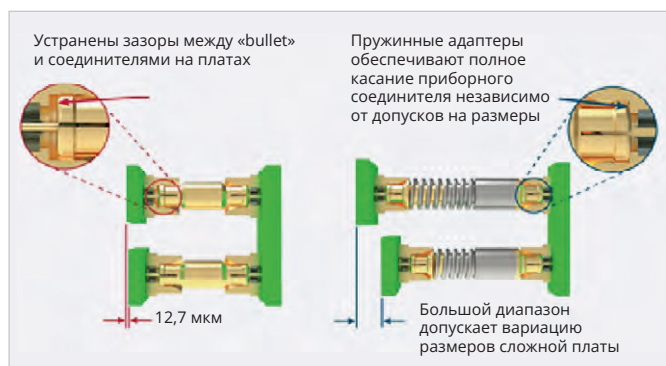


Рис. 4. Фиксированные и подпружиненные адаптеры Bullet

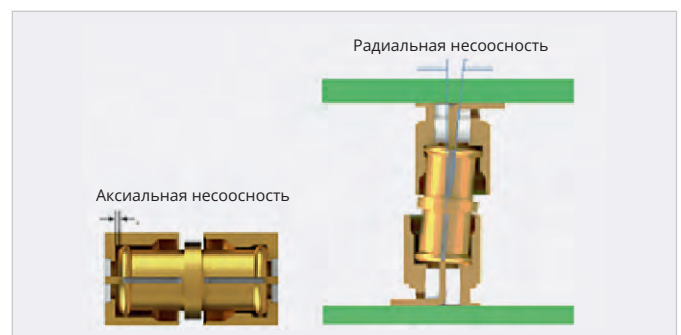


Рис. 5. Аксиальная и радиальная несоосности при соединении печатных плат с помощью адаптера Bullet

Таблица 1. Компании – производители адаптеров Bullet, количество фиксированных и подпружиненных адаптеров SMPM и SMPS типов

№ п/п	Наименование компании	Страна	Типы адаптеров Bullet				Источник
			SMPM, SMЗР		SMPS, MSSS, SMPW		
			Фиксированные	Подпружиненные	Фиксированные	Подпружиненные	
1	Corning/Gilbert	США	5	7	3	1	[2]
2	Micro-Mode		11	4	22	5	[7]
3	SV Microwave		5	6	–	3	[8]
4	Amphenol		13	–	4	–	[9, 10]
5	Cristek		5	2	–	–	[11]
6	Samtec		4	2	–	–	[12]
7	Delta		11	–	–	–	[13]
8	Cinch		3	–	–	–	[14]
9	Southwest Microwave		9	–	–	–	[15]
10	Carlisle		2	8	–	–	[16]
11	Molex		16	–	–	–	[17]
12	Dynawave		11	–	3	–	[18]
13	Radiall	Франция	–	–	4	1	[19]
14	Rosenberger	Германия	4	–	5	–	[20, 21]
15	Xian Elite	Китай	6	–	–	–	[22]
16	RF Teleworld		9	–	–	–	[23]
17	Jyebao	Тайвань	3	1	–	–	[24]
18	Huang Liang		3	–	–	–	[25]

Примечание: в табл. 1 не включены адаптеры Bullet G4PO, которые выпускают всего две компании (Corning/Gilbert-9, показаны на рис. 6), и Micro-Mode (1)

Таблица 2. Параметры адаптеров Bullet компании Corning/Gilbert

Типы соединителей	GPP0 (SMPM)	GЗР0 (SMPS)	(G4PO MM4S)
Верхняя частота применения, ГГц	65	100	60
Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц	1,1 (DC-26,5) 1,3 (26,5–50)	1,1 (DC-26,5) 1,25 (26,5–65)	1,15 (DC-15) 1,25 (15–60)
Величина потерь в зависимости от частоты f (ГГц)	≤ 0,04√f	≤ 0,03√f	≤ 0,03√f
Напряжение пробоя (на уровне моря), В	335	250	250
Сопротивление изоляции, МОм, не менее	5000	3500	3500
Сопротивление, мОм, не более: наружного проводника внутреннего проводника		2,0 6,0	
Диапазон рабочих температур, °С		–65...+165	
Экранное затухание, дБ (для пары соединителей)		–80	
Допустимое количество соединений и рассоединений не менее:			
полное защёлкивание	100	100	100
ограниченное защёлкивание	500	–	–
скользящее соединение	1000	500	500
Усилия соединения/рассоединения, Н:			
полное защёлкивание	31,2/40,2	11,2/20,1	28,9/9,8
ограниченное защёлкивание	22,3/31,2	–	–
скользящее соединение	13,4/2,23	5,27/4,45	8,9/6,7
Несоосность, мм:			
радиальная		±0,025	
аксиальная		0,025	

за пределы этих уровней, возможны ухудшение КСВН и потеря мощности.

5. Адаптеры Bullet SMPM и SMPS зарубежных компаний

В табл. 1 приведены данные о фиксированных и подпружиненных адаптерах Bullet SMPM и SMPS, выпускаемых зарубежными компаниями.

Покрытие всех адаптеров Bullet – износостойкое золото по подслоям химического никеля и меди.

Corning/Gilbert

На рис. 6 показан внешний вид адаптеров Bullet этой компании [2].

Разработаны и выпускаются все необходимые фиксированные и подпружиненные адаптеры, включая

адаптер G4PO (5 модификаций) с верхней частотой применения 110 ГГц. Параметры адаптеров Bullet приведены в табл. 2 [2].

Длина фиксированных адаптеров Bullet: 4,2 мм, 4,6 мм, 4,8 мм, 5,0 мм, 8,3 мм. Длина подпружиненных адаптеров Bullet – от 16,5 до 25,7 мм [8]. Фиксированные SMPM-адаптеры Bullet предназначены для работы в диапазоне частот DC-65 ГГц, максимальный КСВН на частотах до 50 ГГц равен 1,3. Диапазон рабочих частот подпружиненных адаптеров Bullet – DC-40 ГГц, в этом диапазоне частот максимальный КСВН равен 1,4, величина потерь не превышает 0,5 дБ [8].

Кроме того, разработаны 3 модификации подпружиненных SMPS-адаптеров Bullet с предельной частотой 32 ГГц.

Micro-Mode

Компания Micro-Mode выпускает рекордно большое количество адаптеров Bullet розетка – розетка (в скобках указана верхняя частота применения, ГГц): SMPM (75) – 15; MSSS (75) – 26; MM4S (110) – 1; SMPS (110) – 1 [7]. Наряду с фиксированными адаптерами Bullet разработаны 9 модификаций подпружиненных адаптеров разной длины: от 2,5 до 5,05 мм – 10; от 5,1 до 7,6 мм – 18; от 7,6 до 10,1 мм – 18; от 10,2 до 12,7 мм – 9; от 12,7 до 15,2 мм – 14; от 15,2 до 17,7 мм – 3; от 17,8 до 20,3 мм – 5; от 20,4 до 25,4 мм – 3. Всего 80 модификаций адаптеров Bullet всех типов, включая и адаптеры SMP (MMSP) [7].

SV Microwave (входит в состав компании Amphenol)

Эта компания разработала 5 фиксированных и 6 подпружиненных SMPM-адаптеров Bullet. Длина фиксированных адаптеров Bullet: 4,2 мм, 4,6 мм, 4,8 мм, 5,0 мм, 8,3 мм; подпружиненных адаптеров Bullet – от 16,5 до 25,7 мм [8]. Фиксированные SMPM-адаптеры Bullet предназначены для работы в диапазоне частот DC-65 ГГц, максимальный КСВН на частотах до 50 ГГц равен 1,3. Диапазон рабочих частот подпружиненных адаптеров Bullet – DC-40 ГГц, в этом диапазоне частот максимальный КСВН равен 1,4, величина потерь не превышает 0,5 дБ [8].

Кроме того, разработаны 3 модификации подпружиненных SMPS-адаптеров Bullet с предельной частотой 32 ГГц.

Amphenol

Компания Amphenol разработала 13 модификаций SMPM-фиксированных адаптеров Bullet длиной от 5,3 до



Рис. 6. Адаптеры Bullet типов GPPPO, G3PO и G4PO компании Gorning/Gilbert

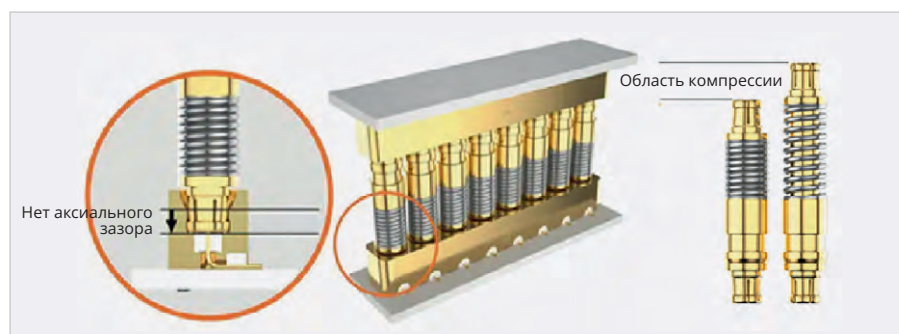


Рис. 7. Подпружиненные адаптеры Bullet SMPM компании Samtec для компактного многорядового применения

13,3 мм [9, 10]. В диапазоне частот DC-65 ГГц максимальный КСВН равен 1,35, потери рассчитывают как $0,1\sqrt{f}$, где f – частота в ГГц, допустимая пропускаемая мощность 16 Вт на частоте 1 ГГц [9]. Половина этих адаптеров являются немагнитными [9, 10]. Созданы также 4 SMPS-адаптера длиной 2,5 мм, 3,9 мм, 5,1 мм и 11,8 мм. В диапазоне частот DC-40 ГГц они имеют КСВН не более 1,5, потери $\leq 0,03\sqrt{f}$, рабочее напряжение – 250 В.

Cristek

Эта компания выпускает 5 фиксированных адаптеров SMPM длиной 4,1 мм, 4,2 мм, 5,33 мм, 8,86 мм и 12,7 мм и 2 подпружиненных адаптера длиной 12,2 мм и 15,2 мм [11]. Адаптеры имеют следующие параметры: верхняя частота применения 65 ГГц, рабочее

напряжение на уровне моря – 335 В, на высоте 21,3 км – 65 В, экранное затухание составляет –80 дБ на частоте 3 ГГц и –65 дБ на частоте 26,5 ГГц. Адаптеры Bullet с предельной частотой 100 ГГц эта компания не производит.

Samtec

Компания Samtec разработала 4 фиксированных адаптера SMPM длиной: 4,22 мм, 5,33 мм, 8,31 мм и 12,7 мм и 2 подпружиненных адаптера длиной 9,65 и 13,96 мм. Рабочий диапазон частот SMPM адаптеров Bullet – DC-65 ГГц, максимальный КСВН – 1,4. Стандартное расстояние между каналами 3,56 мм, диапазон частот – DC-65 ГГц.

На рис. 7 показано применение SMPM-адаптеров Bullet в групповых системах с высокой плотностью монтажа [12].

Delta Electronics

В номенклатуре продукции этой компании фиксированные адаптеры Bullet двух серий: SMPM и SMP3 [12]. Серия SMPM состоит из 6 адаптеров длиной от 4,2 мм до 8,0 мм. Расстояние между адаптерами при установке в ряд – 3,1 мм [13].

В серию SMP3 входят 6 адаптеров Bullet длиной от 2,5 ±0,3 мм до 12,7 ±0,3 мм. Рабочий диапазон частот – DC-65 ГГц, максимальный КСВН равен 1,5, рабочее напряжение 250 В. Подпружиненные адаптеры эта компания не производит.

Компания Cinch Connectivity Solutions

Компания Cinch Connectivity Solutions предлагает два SMPM-адаптера Bullet длиной 5,33 мм и 6,5 мм. Эти адаптеры работают в диапазоне частот DC-67 ГГц с КСВН не более 1,45, величиной потерь $0,1\sqrt{f}$, с рабочим напряжением 325 В и экранным затуханием –65 дБ на частоте 3 ГГц. Кроме того, компания выпустила SMP3 адаптер Bullet вилка – вилка длиной 2,46 мм. В диапазоне частот DC-67 ГГц КСВН адаптера не превышает 1,4, рабочее напряжение составляет 250 В [14].

Southwest Microwave. Microwave Products Division (MPD)

Эта компания разработала 8 миниатюрных адаптеров Bullet типа SSBB (Board-to-Board Connectors) для диапазона частот DC-67 ГГц [15]. Адаптеры имеют длину от 2,62 мм до 11,48 мм. Кроме того, создан миниатюрный адаптер вилка – вилка длиной 2,1 мм для соединения печатных плат, расположенных между собой на расстоянии 3 мм. Компания Southwest Microwave усовершенствовала конструкцию розетки и вилки соединителей SSBB, что увеличило срок службы и повысило устойчивость к ухудшению качества радиосигнала. Адаптеры SSBB применяют для оборонных, космических, коммуникационных, сетевых и тестовых приложений.

Carlisle Interconnect Technologies (Carlisle)

Компания Carlisle разработала 2 фиксированных SMPM-адаптера Bullet одинаковых размеров (длина 5,33 мм), отличающихся только количеством ламелей на корпусе (6 и 4).

Кроме того, созданы 6 подпружиненных SMPM-адаптеров Bullet длиной от 10,85 до 15,24 мм (рис. 8) [16]. SMPM-адаптеры Bullet имеют следующие основные параметры: диапазон



Рис. 8. Фиксированный (а) и подпружиненный (б) SMPM-адаптеры Bullet

рабочих частот – DC-65 ГГц, КСВН равен $1,02 + 0,012 f$; величина потерь $0,04\sqrt{f}$, дБ; рабочее напряжение – 325 В; усилия соединения/рассоединения (Н): 28,9/17,8 (соединение защёлкиванием), 11,2/6,7 (скользящее соединение); диапазон рабочих температур – от -55°C до $+165^{\circ}\text{C}$; аксиальная несоосность 0,00/0,25 мм, радиальная несоосность $\pm 0,25$ мм.

Molex LLC (Molex)

Компания Molex выпускает 15 фиксированных SMPM-адаптеров Bullet длиной от 5,33 до 23,80 мм для диапазона частот DC-65 ГГц [17]. Кроме того, создан адаптер Bullet в этом же диапазоне частот длиной 6,6 мм несколько другого внешнего вида, имеющий следующие параметры: КСВН в диапазоне частот DC-50 ГГц не более 1,35, рабочее напряжение 250 В на уровне моря и 42 В на высоте 21,3 км, усилия соединения/рассоединения (Н): 35,6/13,4 (для полного защёлкивания), 17,8/2,0 (для скользящего соединения), рабочее напряжение 335 В.

Dynawave, Inc. (Dynawave)

Эта компания является производителем фиксированных адаптеров Bullet двух типов: SMPM и SMPS [18]. Разработаны адаптеры SMPM, длиной от 4,2 до 15,2 мм – 11 модификаций, имеющие следующие параметры: диапазон рабочих частот DC-50 ГГц; КСВН в диапазоне частот DC-40 ГГц – 1,45; величина потерь $0,1\sqrt{f}$, дБ; экранное затухание –80 дБ на частоте 3 ГГц; допустимая пропускаемая мощность 350 Вт на частоте 1 ГГц и 60 Вт на частоте 20 ГГц; рабочее напряжение 170 В; усилия соединения/рассоединения, Н, 28,9/26,7 (полное защёлкивание) и 6,7/2,2 (скользящее соединение), допустимые аксиальная несоосность 0,25 мм, радиальная несоосность: $\pm 0,25$ мм.

Адаптеры Bullet SMPS 3 модификаций имеют длину 4,8 мм, 6,5 мм и 12,8 мм. Их диапазон рабочих частот DC-60 ГГц; КСВН в рабочем диапазоне частот равен 1,44, потери $0,1\sqrt{f}$, дБ; экранное затухание –80 дБ на частоте 3 ГГц и –65 дБ в диапазоне частот

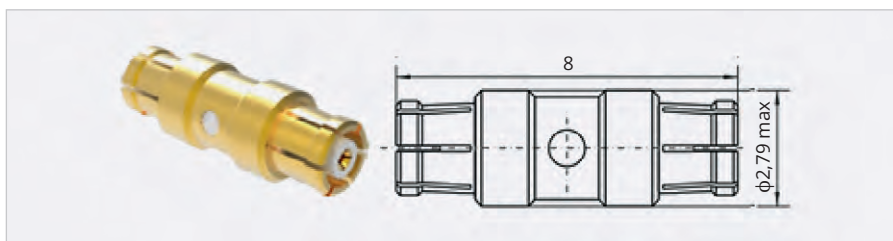


Рис. 9. Адаптер Bullet SSMP-KK240 компании Xian Elite

(3...26,5) ГГц. Допустимая пропускаемая мощность 100 Вт на частоте 2,5 ГГц.

Radiall Co.

Компания Radiall разработала сверхминиатюрный коаксиальный адаптер Bullet SMPW с предельной частотой 100 ГГц, совместимый с адаптером G3PO. Для достижения более высокой надёжности и стабильной работы всех соединителей SMPW компания Radiall усовершенствовала конструкцию и технологию изготовления, используя помещения с контролируемой атмосферой, предназначенные для микрообработки и процессов нанесения покрытий [19]. SMPW Bullet имеет следующие основные параметры: рабочий диапазон частот DC-100 ГГц, КСВН в диапазоне частот DC-65 ГГц менее 1,25; величина потерь $0,12\sqrt{f}$, дБ; усилия соединения/рассоединения (Н): 4 макс / 6,5 мин (для соединения защёлкиванием), 2,2 макс / 1,0 мин (для скользящего соединения).

Разработаны 3 фиксированных адаптера Bullet SMPM длиной от 5,33 мм до 8,5 мм и один подпружиненный адаптер. SMPM Bullet работают в диапазоне частот DC-65 ГГц, КСВН в диапазоне частот DC-40 ГГц менее 1,35, потери $0,1\sqrt{f}$, дБ, рабочее напряжение 335 В, усилия соединения/рассоединения (Н), 20/30 (для соединения защёлкиванием), 11/9 (для скользящего соединения).

Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG (Rosenberger)

Несомненным достижением компании Rosenberger является разработка адаптеров Bullet WSMP: одного подпружиненного длиной 12,7 мм и 9 фиксированных адаптеров длиной от 2,49 мм до 15,24 мм [20, 21]. Адаптеры WSMP предназначены для работы в диапазоне частот DC-100 ГГц с максимальным КСВН во всём рабочем диапазоне частот, равным 1,67, величиной потерь $0,12\sqrt{f}$, дБ; рабочим напряжением 250 В и экранным затуханием –80 дБ на частоте 3 ГГц. Усилия соединения/рассоединения (Н): 11/20 (для соединения защёлкиванием), 5,3/4,45 (для скользящего соединения). Допустимые

аксиальная несоосность 0,13 мм, радиальная несоосность $\pm 0,25$ мм.

Кроме того, были разработаны фиксированные SMPM (Mini SMP) адаптеры Bullet, обеспечивающие расстояние между соединяемыми платами от 8,0 мм до 13,73 мм. Рабочий диапазон частот адаптеров DC-65 ГГц, максимальный КСВН равен 1,5, величина потерь $0,12\sqrt{f}$, дБ, рабочее напряжение 325 В, экранное затухание –85 дБ на частоте 3 ГГц, допустимая пропускаемая мощность 50 Вт на частоте 2,2 ГГц. Усилия соединения/рассоединения (Н): 19/23 (для соединения защёлкиванием), 11/7,5 (для скользящего соединения). Допустимые аксиальная несоосность 0,13 мм, радиальная несоосность $\pm 0,25$ мм.

Xian Elite Electric Industry Co., Ltd. (Xian Elite)

Компания Xian Elite выпускает 7 адаптеров SSMP розетка – розетка Bullet длиной от 4,0 мм до 23,1 мм для диапазона частот DC-50 ГГц [22]. КСВН адаптеров в диапазоне частот DC-18 ГГц менее 1,25, в диапазоне (18...26,5) ГГц менее 1,3, в диапазоне (26,5...40) ГГц менее 1,4 и в диапазоне (40...50) ГГц не более 1,5, рабочее напряжение 335 В, напряжение пробоя 500 В, сопротивление изоляции более 2000 МОм. Адаптер SSMP-KK 240 длиной 8 мм имеет в центре корпуса круглое отверстие, через которую виден фторопластовый изолятор (рис. 9) [22].

Shenzhen Teleworld Microwave Co., Ltd. (RF Teleworld)

Вторая китайская компания выпускает большое количество фиксированных и подпружиненных адаптеров Bullet SMPM с предельной частотой 40 и 50 ГГц, совместимых с аналогами типа GPPO. Конструкция фиксированных адаптеров обеспечивает прочное закрепление внутри корпуса фторопластового изолятора и установленных в нём центральных проводников (рис. 10) [23].

Разработаны 9 модификаций фиксированных адаптеров разной длины: от 4,0 до 16,5 мм. Кроме того, созданы 14 модификаций подпружиненных адаптеров длиной от 9,5 до 20 мм.

Juebao Co., Ltd. (Juebao)

Эта известная компания разработала 4 адаптера розетка – розетка Bullet: три фиксированных и один подпружиненный [24]. Фиксированные адаптеры доступны в формате 5,33 мм, 5,59 мм и 13,97 мм, подпружиненный адаптер является аналогом адаптера № 1132–4113 компании SV Microwave. Все адаптеры компании Juebao имеют одинаковые параметры: КСВН равен 1,2 (DC–27 ГГц), 1,25 (27...40 ГГц), 1,35 (40...50 ГГц) и 1,6 (50...65 ГГц), величина потерь 0,1 дБ, рабочее напряжение 335 В, диапазон рабочих температур: –65...+165°С. Усилия соединения/рассоединения (Н) 57,8/22,2 для полного защёлкивания, 44,5/8,91 (для ограниченного защёлкивания) и 8,9/2,2 (для скользящего соединения).

Huang Liang

Известная тайваньская компания выпускает большое количество фиксированных и подпружиненных SMP-адаптеров Bullet и лишь три адаптера SSMP (SMPM) в диапазоне частот DC–50 ГГц. Адаптер длиной 4,8 мм имеет КСВН менее 1,5, потери 0,7 дБ макс. и рабочее напряжение 170 В [25].

Адаптер длиной 8,49 мм имеет КСВН менее 1,58, потери 0,9 дБ макс. и рабочее напряжение 335 В. Усилия соединения и рассоединения (Н): 19,1/11,12 (для полного защёлкивания) и 16,9/6,7 (для скользящего соединения). Адаптер длиной 18,7 мм имеет КСВН менее 1,6, потери 0,9 дБ макс., рабочее напряжение 335 В, усилия соединения и рассоединения (Н): 22,5/8,9 (для полного защёлкивания) и 11,1/2,2 (для скользящего соединения), диапазон рабочих температур: –55...+155°С.

6. Преимущества и области применения соединений плат и модулей СВЧ с помощью адаптеров Bullet

Такие соединения имеют невысокие вносимые потери в мм-диапазоне частот и обеспечивают высокоскоростную передачу данных. Применение адаптеров Bullet позволяет устанавливать желаемое расстояние между платами и модулями и учитывать смещения в расположении плат, что имеет решающее значение в компактных или многоплатных конструкциях. Важное значение имеет компактность конструкции и возможность использования в условиях ограниченного пространства и в случае большого количества соединений на небольшой площади. Кро-

ме того, быстроразъёмное соединение обеспечивает быстрое подключение без использования инструментов.

Области применения: телекоммуникационные и базовые станции, серверные системы и системы хранения данных, электронные устройства СВЧ высокой сложности, выполняющие множество функций, антенны, военное и аэрокосмическое применение.

Заключение

Представленный обзор зарубежных адаптеров розетка – розетка Bullet не претендует на исчерпывающую полноту. Вне его оказались несколько компаний либо из-за недоступности информации, либо из-за слишком малого количества выпускаемых адаптеров. Следует подчеркнуть, что большинство компаний приводят параметры адаптеров с верхней частотой применения 100 ГГц лишь в диапазоне частот DC–65 ГГц. Это может быть, связано с отсутствием дорогостоящих векторных анализаторов в диапазоне частот DC–110 ГГц.

В нашей стране диапазон частот 65–100 ГГц пока ещё мало востребован. Этим, возможно, объясняется отсутствие работ по созданию серий соединителей, совместимых с соединителями серии SMPS, включая и адаптеры Bullet.

Литература

1. Джуринский К.Б. SMP-адаптер Bullet – ключевой элемент в соединениях плат и модулей // Компоненты и Технологии. 2014. № 1. С. 75–80.
2. Microwave Connectivity | GPO, GPPO, G3PO. URL: <https://www.corning.com>.
3. Джуринский К.Б. Радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. М.: ВАШ ФОРМАТ, 2024. 380 с.
4. Board-to-board Connector Basics – Misalignment, Spring and Fixed Bullets and Multi-Mating. URL: <https://www.electropages.com/2025/05/board-board-connector-basics-misalignment-spring-and-fixed-bullets-and-multi-mating>.
5. 5G Extreme Performance Catalog. Application Notes. URL: <http://www.svmicrowave.com>.
6. Board-to-Board RF Connectors Product Portfolio. URL: <https://www.tti.com/content/ttiinc/en.html>.
7. Bullet Length. URL: <https://micromode.com/product-category/blindmates-connectors/bullets/>.
8. SMP and SMPM Fixed Bullets. SV Microwave. URL: <https://www.svmicrowave.com>.



Рис. 10. Фиксированные SMPM-адаптеры Bullet компании RF Teleworld

9. SMPM Product Series Solutions Guide Catalog. URL: https://www.amphenorlf.com/library/download/link/link_id/600376/.
10. SMPM Interconnect Series. Amphenol CIT. URL: <https://www.amphenol-cit.com>.
11. Microwave Products Catalog. Benchmark Connector. URL: <https://www.benchmarkconnector.com>.
12. Samtec Released its Line of Spring-loaded SMPM Adaptors. URL: <https://inter-connection.eu/samtec-released-its-line-of-spring-loaded-smpm-adaptors/>.
13. Catalogs – Delta. Delta Electronics Manufacturing Corporation. URL: <https://www.deltarf.com>.
14. RF & Microwave Adapters. Cinch Connectivity Solutions. URL: <https://www.cinch.com>.
15. Board-to-Board Connectors (SSBB) DC to 67 GHz. Southwest Microwave. URL: <https://mpd.southwestmicrowave.com>.
16. SMPM Interconnect Series. Carlisle Interconnect Technologies. URL: <https://www.amphenol-cit.com/wp-content>.
17. SMPM RF Blind-Mate Connectors. Molex. URL: <https://www.molex.com>.
18. New Catalog Backup special 040919. indd. Dynawave. URL: <https://www.dynawave.com>.
19. SMPM – RF Coaxial Connectors Radiall. URL: <https://www.radiall.com>.
20. Layout 1. Rosenberger North America. URL: <https://www.rfmw.com/datasheets/rosenberger/2020%20wsmp.pdf>.
21. SMP, Longwipe-SMP, Mini-SMP Rosenberger. URL: <https://rfcomponents.ru/ROSENBERGER/4.pdf>.
22. Mini SMP Bullet RF Adapter Connector Female Mini SMP. URL: <https://russian.rf-coaxialconnector.com>.
23. SSMP GPPO Compressible Adapter Connector 40 GHz, 50 GHz/ Shenzhen Teleworld Microwave Co., Ltd. URL: <https://www.teleworldrf.com>.
24. RF Adapters. JYBAO Co., Ltd. URL: <https://www.jybao.com.tw>.
25. Huang Liang Technologies offers SMPM connectors. LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com>.



Применение ИМС LM3909 в типовом и нестандартном включении

Александр Одинец

Большинство линейных интегральных схем сконструированы для работы от источника питания с напряжением от 4,5 до 40 В. Обычно портативное оборудование, работающее от батарей, практически никогда не обеспечивается световыми индикаторами из-за неприемлемой потребляемой мощности. Даже светодиоды не будут светиться при напряжении 1,5 В и разрядят девятивольтовую батарею радиоприёмника за несколько часов.

ИМС LM3909 всё меняет. Обеспечивая большое время работы от одного источника питания с напряжением 1,5 В, она открывает совершенно новую область приложений для линейных ИМС. Достаточное напряжение для вспыхивания светодиода генерируется при снижении напряжения источника питания до 1,1 В. В приложениях с таким рабочим циклом одного элемента будет достаточно для непрерывной работы от нескольких месяцев до нескольких лет. Подобные схемы индикации находят практическое применение для обозначения местоположения в проблесковых маячках, аварийном оборудовании и местах швартовки судов в темноте.

ИМС LM3909 имеет простую конструкцию, удобна в использовании и содержит дополнительные резисторы на кристалле для уменьшения числа внешних компонентов и размера готового индикатора или генератора.

Работа схемы

Схема, показанная ниже на рис. 1, – это включение LM3909 по схеме простейшего генератора. Если временно не учитывать конденсатор и принять напряжение на выводе 5 равным 1,5 В, ток протекает через времязадающие резисторы номиналами 3 и 6 кОм через эмиттер VT1. Данный ток усиливается транзистором VT2 с коэффициентом 3 и подаётся на базу транзистора VT3. Транзистор VT3 начнёт проводить, уменьшая напряжение на базе VT4 и, следовательно, на базе VT1. Это отрицательная обратная связь, поскольку она уменьшит ток времязадающего резистора и базовый ток мощного транзистора, пока не будет достигнут баланс. Это произойдёт при напряжении на коллекторе VT3 примерно 0,5 В, при напряжении на базе VT4 примерно 1 В и очень малом напряжении между выводом 8 и общим проводом. Разница между этими двумя напряжениями – это падение напряжения на переходе база-эмиттер VT1 и 2/3 падения напряжения база-эмиттер VT4, как задано резистивным делителем между его базой и эмиттером.

Заметим, что напряжение ООС ослабляется, по крайней мере, с фактором

2 благодаря делителю из двух резисторов сопротивлением 400 Ом. Учитывая конденсатор, коэффициент его ПОС изначально равен 1. Теперь условия смещения по постоянному току и временного преобладания ПОС удовлетворены, и схема должна генерировать. Форма колебаний на выводе 8 данного генератора показана ниже. Форма колебаний на выводе 2, на коллекторе мощного транзистора, почти прямоугольная. Она имеет размах от напряжения насыщения 0,1 В до напряжения питания минус 0,1 В. Период «включённого» состояния, конечно, совпадает с отрицательными импульсами на выводе 8. Другие напряжения схемы могут быть легко получены из временных диаграмм на рис. 2.

Простоту светового сигнализатора с лампой накаливания и светодиодом иллюстрирует нижеприведённый рис. 3. В светодиодном варианте LM3909 использует только один внешний конденсатор в качестве времязадающего и вольтодобавочного одновременно. Хотя LM3909 и была разработана для светодиодных сигнализаторов, она идеальна и для других приложений, таких как мощный управляющий драйвер для тири-

сторов и симисторов. Частота генерации может изменяться от единиц Гц до сотен кГц. Форма импульсов может изменяться от микросекунд до прямоугольных. Таким образом, LM3909 может работать как генератор звуковых эффектов, звуковой аварийный сигнал или регистратор гальванических связей. Наконец, LM3909 может работать как радиоприёмник (детектор/усилитель), маломощное переговорное устройство, двухсторонний телеграфный аппарат или часть миниатюрного стробоскопического источника света, вспыхивающего до 7 раз за секунду.

Функционирование от одной батареи напряжением 1,5 В в качестве источника питания наделяет LM3909 несколькими уникальными характеристиками. Во-первых, не существует возможных неправильных подключений, которые могли бы вывести ИМС из строя. Внутренняя петля обратной связи гарантирует самозапуск правильно «нагруженных» генераторных схем. Следующие конструкции раскрывают возможности LM3909 в качестве усилителя переменного напряжения, одновибратора, защёлки, детектора превышения сопротивления, многотонального генератора, пожарного извещателя или высокочастотного генератора.

При акценте на практическом использовании будет приведено короткое описание схем для следующих областей применения:

- 1) приложения для световой сигнализации;
- 2) приложения для аудио и генераторов;
- 3) триггеры и другие приложения.

Для тех, кто пожелает модифицировать или сконструировать собственные схемы, в конце статьи будут приведены некоторые рекомендации.

Описание схемы

Схема на рис. 4 вновь представляет типичный световой сигнализатор с напряжением питания 1,5 В, но также иллюстрирует внутреннюю схему ИМС. Сигнализатор достигает мини-

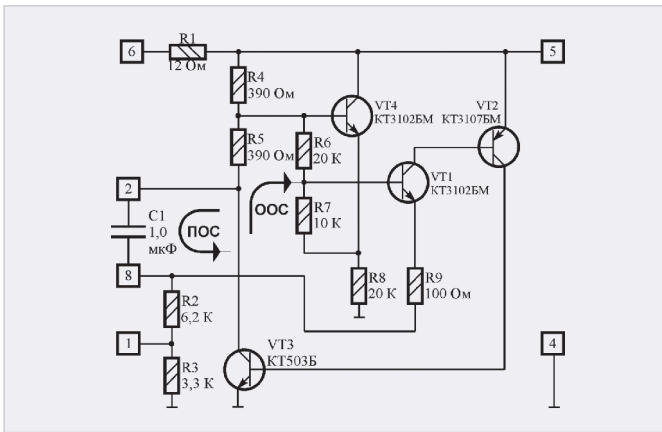


Рис. 1. Эквивалентная электрическая принципиальная схема ИМС LM3909 с внешним конденсатором

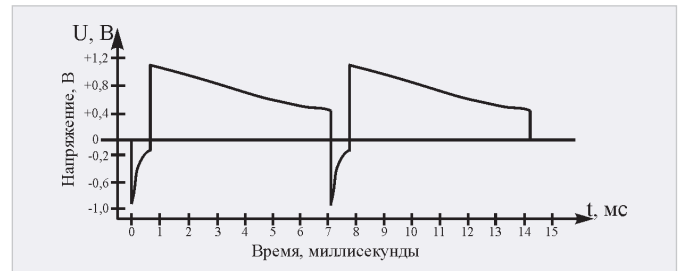


Рис. 2. Временная диаграмма выходных импульсов на коллекторе мощного транзистора VT3

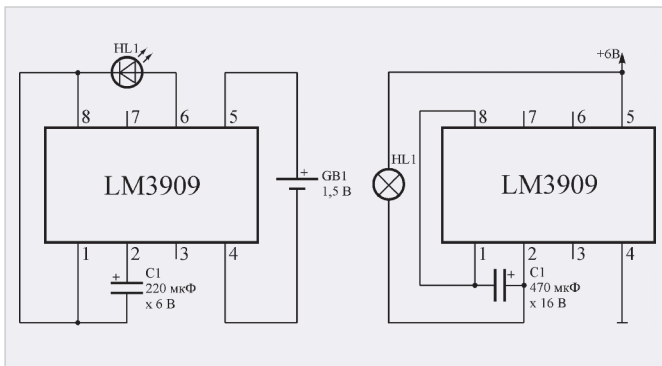


Рис. 3. Две простые мигалки на основе LM3909

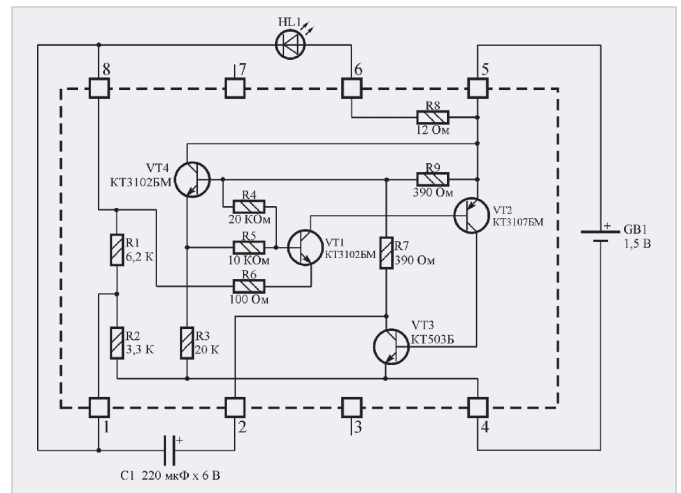


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная, иллюстрирующая принцип работы светового сигнализатора

мального расхода мощности двумя способами. Работая, как сказано выше, светодиод получает ток только в течение 1% времени. Всё остальное время транзисторы, кроме VT4, выключены. Резистор сопротивлением 20 кОм, включённый между эмиттером VT4 и «общим» проводом, потребляет ток всего около 50 мкА. Конденсатор ёмкостью 300 мкФ заряжается через два резистора сопротивлением 400 Ом, подключённых к выводу 5, и через резистор сопротивлением 3 кОм, подключённый к выводу 1 ИМС.

Транзисторы VT1...VT3 остаются выключенными, пока конденсатор не зарядится до 1 В. Это напряжение определяется падением на переходе VT4, делителем напряжения между его переходом база-эмиттер и падением на переходе VT1. Когда напряжение на выводе 1 становится на 1 В более отрицательным, чем на выводе 5 (положительный вывод источника питания), VT1 начинает проводить. Это затем приводит к включению VT2 и VT3. Тогда LM3909 подаёт мощный токовый импульс на светодиод. Коэффициент усиления по току для VT2 и VT3 находится в пределах от 200 до 1000. VT3 может обеспечить ток свы-

ше 100 мА и быстро подтягивает вывод 2 близко к «общему» проводу (выводу 4). Поскольку конденсатор теперь заряжен, его другой вывод, подключённый к выводу 1, опускается ниже потенциала «общего» провода. Напряжение на светодиоде становится больше, чем напряжение батареи, и резистор сопротивлением 12 Ом между выводами 5 и 6 ограничивает ток светодиода.

Многие другие генераторные схемы работают подобным образом. Если вольтодобавка не требуется (с ограничением тока или без него), нагрузки могут подключаться между выводами 2 и 6 или 2 и 5.

Приложения: мигалка и сигнализатор

Различные применения и напряжения питания требуют подстройки частоты вспышек. Часто бывает удобно оставить конденсатор той же ёмкости, чтобы минимизировать его размер или ограничить энергию импульса светодиода. Во-первых, внутренние резисторы могут быть использованы, чтобы получить 3 кОм, 6 кОм или 9 кОм посредством замыкания или закорачивания соответствую-

ющих выводов. Дальнейшие методы подстройки показаны на двух частях рис. 5, приведённого ниже.

Как можно видеть на рис. 5а, внутренние резисторы шунтированы внешним сопротивлением 1 кОм, подключённым между выводами 8 и 4. Это ускоряет частоту вспышек мигалки с напряжением питания 1,5 В, показанной на рис. 3, в 3 раза.

Резистор сопротивлением 3,9 кОм, показанный на рис. 5б, подключённый между выводом 1 и плюсом источника питания 6 В, увеличивает напряжение на нижнем по схеме выводе резистора сопротивлением 6 кОм. Ток заряда через этот резистор значительно уменьшается, тем самым уменьшая и частоту вспышек до частоты низковольтной схемы (1 Гц). Как будет показано далее, этот метод привязки также гарантирует старт генерации даже в наихудших условиях.

Для надёжности схемы следует учитывать два обстоятельства. Дополнительный резистор сопротивлением 75 Ом последовательно со светодиодом ограничивает импульсы тока на безопасном уровне для диода и микросхемы. Также при работе от источника питания с напряжением более 3 В элек-

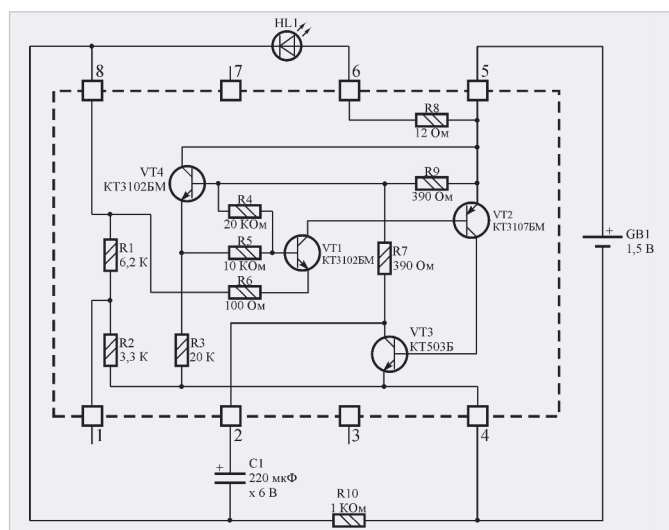


Рис. 5а. Схема электрическая принципиальная быстрой мигалки

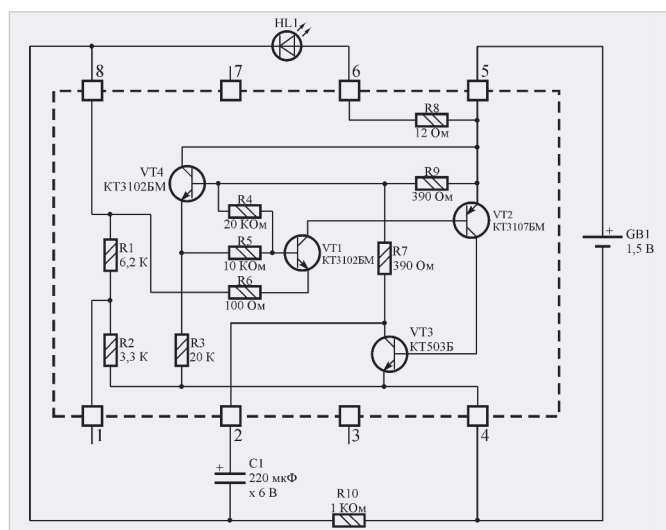


Рис. 5б. Схема электрическая принципиальная шестивольтной мигалки

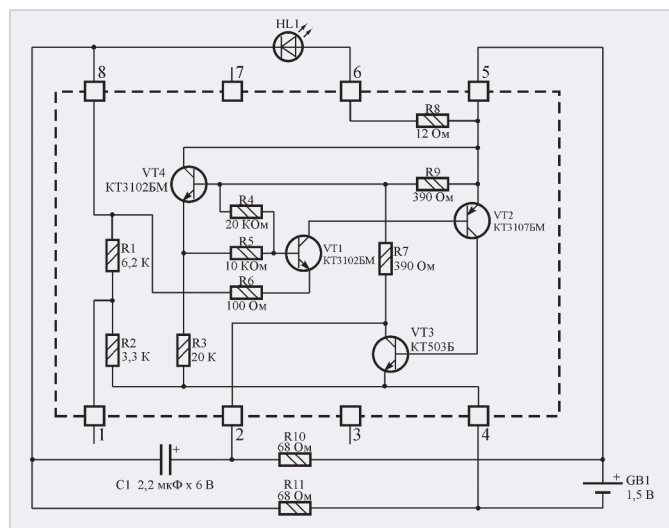


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная индикатора непрерывного свечения

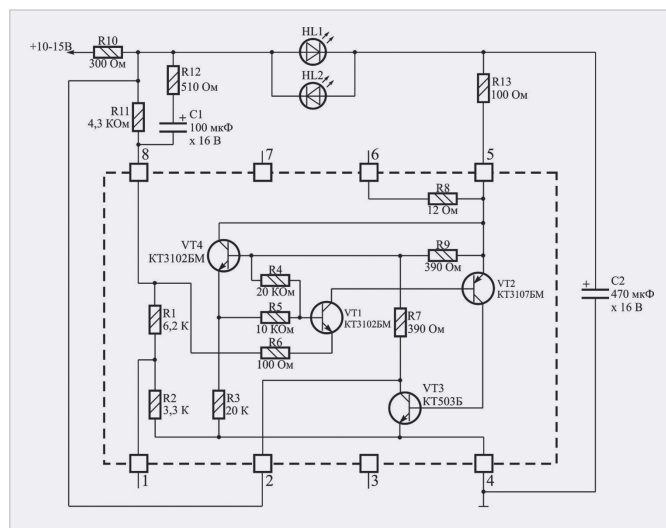


Рис. 7. Схема электрическая принципиальная двухсветодиодного сигнализатора с попеременным миганием

тролитический конденсатор испытывает мгновенные инверсии (переплюсовки) напряжения. Он должен быть рассчитан на удвоенное напряжение.

Световой индикатор непрерывного действия может быть запитан от одного элемента напряжением 1,5 В, как показано на рис. 6. Коэффициент заполнения и частота импульсов светодиода возрастают, пока среднее значение энергии не обеспечивает яркое свечение. На частотах свыше 2 кГц даже быстрое движение источника света не создаст иллюзии мерцания.

Поскольку эта схема питания индикатора использует конденсатор минимальной ёмкости, который надёжно обеспечивает полное выходное напряжение, её рабочая частота значительно превышает 2 кГц. Этот индикатор, однако, не рассчитан на длительную

работу, поскольку потребляемый ток превышает 12 мА.

Работа на высоких частотах требует добавления двух внешних резисторов, обычно одинаковой величины. Один, конечно, шунтирует внутренние высокоомные времязадающие резисторы. Если используется только один резистор, ток заряда конденсатора должен пройти через два внутренних резистора сопротивлением 400 Ом, включённых между выводом 5 и коллектором VT3. В таком случае может наблюдаться генерация с частотой и коэффициентом заполнения меньшими, чем желаемые, и генерация вообще может прекратиться прежде, чем батарея полностью разрядится. Второй резистор сопротивлением 68 Ом, шунтирующий два резистора сопротивлением 400 Ом, устраняет эти проблемы.

Схема на рис. 7 представляет собой релаксационный генератор, зажигающий 2 светодиода последовательно. При напряжении питания 12 В частота вспышек составляет 2,5 Гц. Вреязадающий и накопительный конденсатор C2 поочередно заряжается через верхний светодиод и разряжается через другой мощный транзистор VT3. Если нужен красно-зелёный индикатор, вывод анода зелёного светодиода необходимо подключить к выводу 5 (как нижний светодиод). Более короткий, но мощный импульс тока действует в этой позиции.

Индикацию или наблюдение высоковольтного источника питания на расстоянии можно выполнить намного более безопасно, чем с помощью неоновой лампы. Если последовательно с источником питания включить балластный резистор (43 кОм

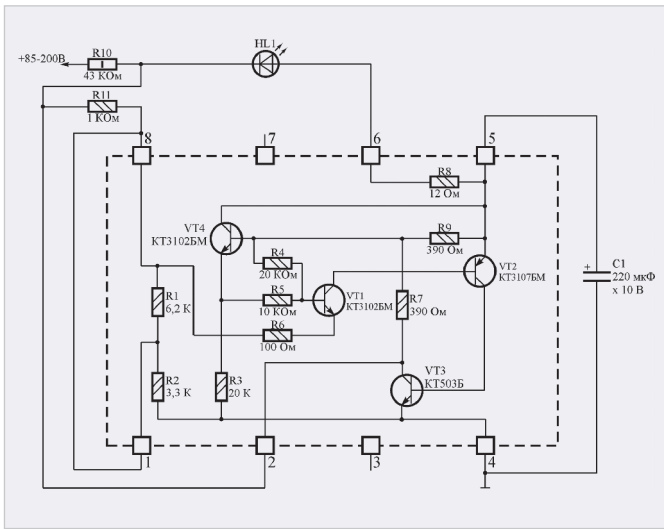


Рис. 8. Безопасный сигнализатор с высоковольтным питанием

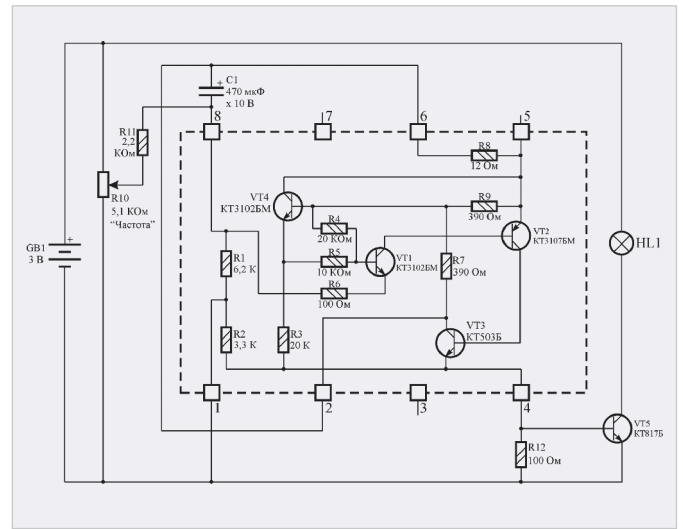


Рис. 9. Стробоскопический источник света с изменяемой частотой

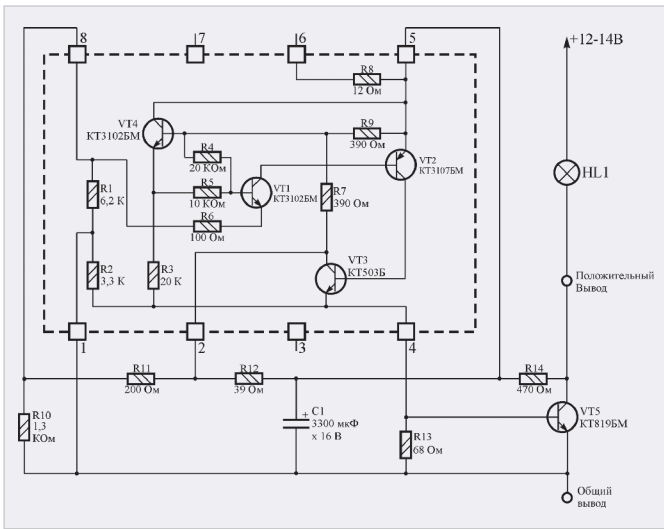


Рис. 10. Двухпроводной 12-вольтный прерыватель лампы накаливания

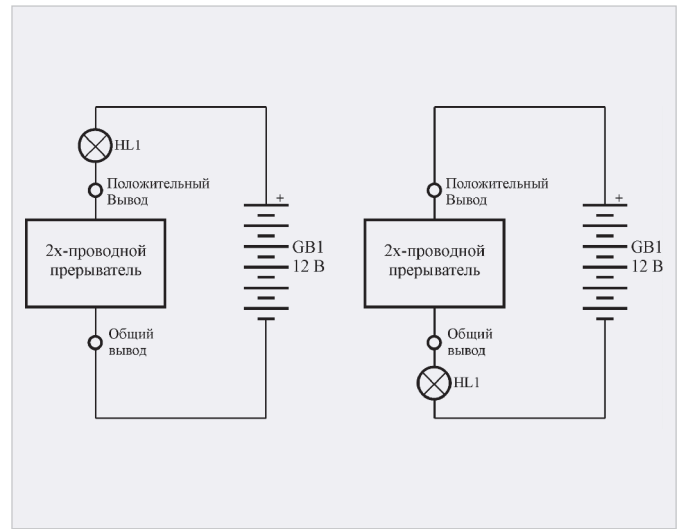


Рис. 11. Схемы включения двухпроводного прерывателя

на рис. 8), то напряжение на схеме будет ограничено на уровне менее 7 В относительно «земли». Вреязадающий конденсатор заряжается через балластный резистор и два резистора сопротивлением 400 Ом, включённых между выводами 2 и 5. Когда напряжение на конденсаторе достигает 5 В, падение напряжения на резисторе 1 кОм становится достаточным, чтобы включить VT1 и, следовательно, переключить всю схему, чтобы разрядить конденсатор через светодиод.

Существует множество других светодиодных приложений и схемных модификаций. График, показывающий работу схемы на рис. 8 при различных напряжениях, представлен в документации на LM3909. Также показаны схемы для подстройки частоты вспышек, управления четырьмя параллельно включёнными светодиодами,

а также инструкции по построению мигающего светового локатора на основе обычного сигнального огня.

Управлять вспышками ламп накаливания также можно, как показано на рис. 3. Однако большинство таких ламп потребляют ток более 150 мА, что больше допустимого для LM3909. Две следующие схемы используют внешний транзистор с током нагрузки до 1 А и более. В каждой схеме используется NPN-транзистор, поэтому базовый управляющий ток транзистора получается из общего или «земляного» вывода микросхемы.

Трёхвольтовый мини-стробоскоп, показанный на рис. 9, может использоваться как источник света с изменяемой частотой вспышек для рекламы или специальных эффектов. Диапазон управления частотой достаточно большой и позволяет изменять частоту

вспышек от нуля до непрерывного свечения. Для минимальной инерционности выбрана лампа типа 1767, которая может вспыхивать несколько раз в секунду.

Схема мини-стробоскопа была испытана с ручным мигающим фонарём с большим отражателем. В тёмной комнате вспышки были достаточно быстрыми, чтобы зафиксировать движение объекта. Установка большой частоты вспышек может подражать стробоскопам на рок-концертах или мерцанию старомодных фильмов.

На рис. 10 показано более энергоёмкое приложение, которое может использовать для питания автомобильный аккумулятор. Схема обеспечивает частоту вспышек 1 Гц и управляет лампой накаливания, потребляющей номинальный ток 600 мА. Частным

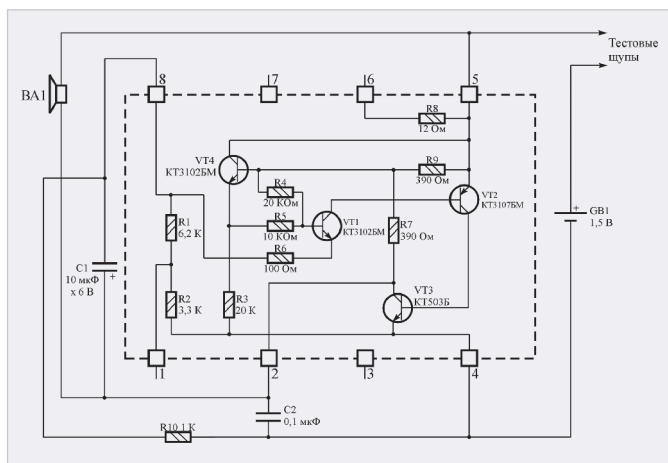


Рис. 12. Схема электрическая принципиальная регистратора гальванических связей

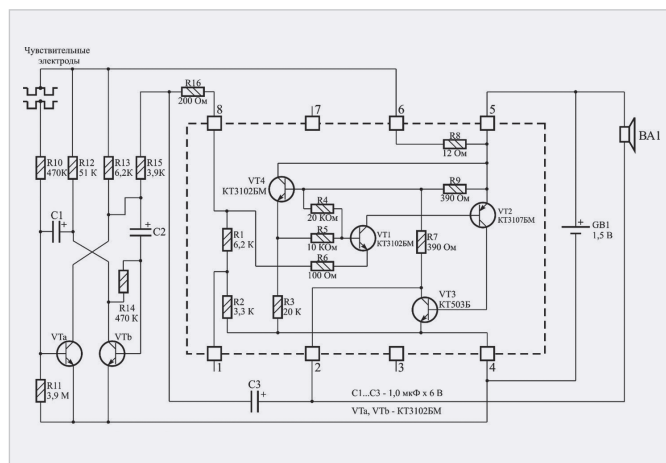


Рис. 13. Схема электрическая принципиальная сигнализатора протекания жидкости

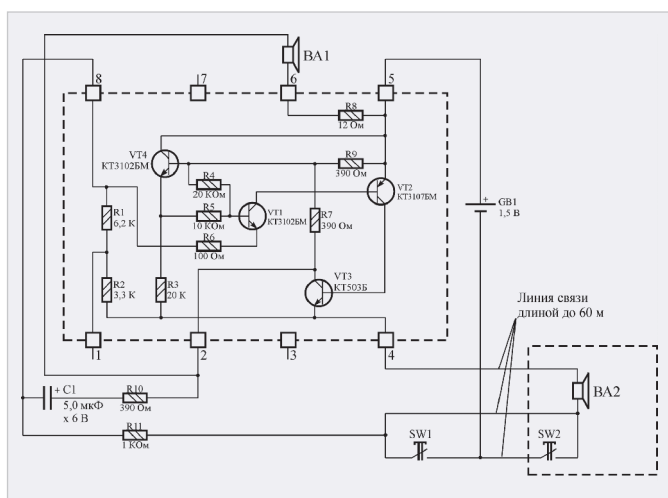


Рис. 14. Схема электрическая принципиальная генератора кода Морзе

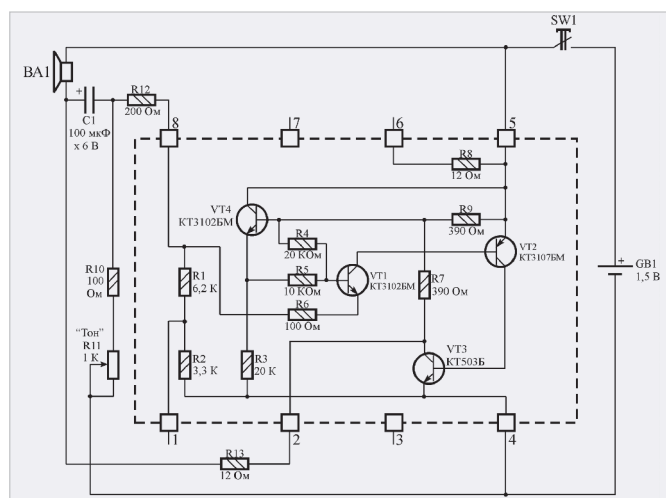


Рис. 15. Схема электрическая принципиальная музыкального инструмента

преимуществом схемы является двухпроводное включение, поэтому она может быть подключена одним из двух способов, показанных на рис. 11. Более того, не существует такого сбоя схемы, который мог бы вызвать большее потребление тока от батареи, чем сама непрерывно включённая лампа накаливания.

На схеме, показанной на рис. 10, конденсатор ёмкостью 3300 мкФ выполняет ряд других функций. Он делает LM3909 устойчивым к броскам напряжения и обеспечивает средства ограничения напряжения питания ИМС. Поскольку LM3909 может работать только при питающем напряжении на выводе 5 не более 7,5 В (для данной схемы), делитель из двух резисторов сопротивлением 200 Ом и 1,3 кОм, подключённый к выводу 8 ИМС, вызывает переключение схемы при напряжении 7 В или менее на выводе 5. Затем LM3909 разряжает времязадающий конденсатор (питающий схему)

до 4 В или менее, вследствие чего схема переключается обратно в исходное состояние. Ток разряда конденсатора через вывод 4 ИМС включает транзистор типа NSD U01. Используется конденсатор достаточно большой ёмкости, который сохраняет достаточно энергии для включения мощного транзистора. Это, в свою очередь, позволяет схеме сигнализатора работать в двухпроводном включении.

Сигнализатор обладает и другими возможностями. Частота вспышек может изменяться от 0 до 20 Гц, или несколько светодиодов могут работать параллельно. При напряжении источника питания 3 В можно управлять жёлтым и зелёным светодиодами. При 6 В можно изготовить «аварийный фонарь» с лампой накаливания типа PR-13, режим работы которого (мигание или непрерывное свечение) можно выбрать переключателем. Это более надёжная система с большим сроком службы, чем фонарь

с дополнительной вспыхивающей галогенной лампой. Светодиод с регулировкой тока типа NSL4944 делает возможным вспыхивание параллельно включённых светодиодов при высоком напряжении без последовательных резисторов.

Приложения: аудио и генератор

На основе LM3909 могут быть созданы очень экономичные регистраторы гальванических связей, генераторы тона и сигнализации. В согласующем трансформаторе нет необходимости, поскольку высокая нагрузочная способность выхода LM3909 в 150 мА позволяет непосредственно управлять стандартными низкоомными динамическими головками. В большинстве приложений используется полувольтовая батарея, как из-за меньшей стоимости, так и из-за большей энергоёмкости, чем у традиционной девятивольтовой батареи.

В регистраторе гальванических связей, показанном на рис. 12, замыкание измерительных щупов или сопротивление между ними менее 100 Ом обеспечивает достаточную мощность для слышимой генерации. При измерении двух значений в быстрой последовательности малые различия в сопротивлении, такие как короткая и 5 Ом, могут быть определены по различию в тоне.

Оригинальное применение этой схемы найдено для регулирования момента зажигания двигателей внутреннего сгорания в определённых типах мотоциклов. Это возможно из-за различий в тоне, который можно слышать из тестера, в зависимости от того, есть ли замыкание параллельно малому основному сопротивлению катушки зажигания мотоцикла. Другими словами, различие в сопротивлении 1-омного резистора и 1-омной катушки индуктивности можно услышать. Таким образом можно определять наличие замыканий и обрывов в трансформаторах и моторах.

Тёмные комнаты, прачечные, лаборатории или подвальные помещения могут страдать от разбрызгивания или просачивания воды, разрушающей мебель, а также химикатов, удобрений, мешков с жёсткой бетонной смесью и так далее. Схема, показанная на рис. 13, безопасна на потенциально сырых полах, поскольку не имеет гальванической связи с сетью. Кроме того, ток потребления покоя в 100 мкА обеспечивает срок службы батареи, близкий к сроку хранения.

При отсутствии влаги транзистор VTa мультивибратора полностью выключен, и его коллекторная нагрузка (6,2 кОм) обеспечивает достаточный ток, чтобы удерживать напряжение на выводе 8 ИМС LM3909 на уровне выше 0,75 В, при котором она не может генерировать. Когда ток через электроды превышает 0,25 мкА, из-за влажности VTa начинает включаться, и, поскольку VTb уже частично смещён, теперь возникает положительная обратная связь. VTa и VTb теперь образуют автоколебательную цепь, которая стартует с частотой 1 Гц и генерирует быстрее с увеличением тока через электроды.

Этот мультивибратор функционирует как усилитель и модулятор. Форма импульса на коллекторе VTa изменяет ток через резистор сопротивлением 3,9 кОм и вывод 8 ИМС LM3909, обеспечивая чёткую модуляцию частоты выходного тона.

Сенсор должен быть частью конструкции корпуса, в который собрана схема сигнализации. Сенсор состоит из двух электродов, каждый длиной 15–20 см, разнесённых друг от друга на расстояние 3 мм. Две полоски нержавеющей стали на изоляторах или соответствующие дорожки на медной печатной плате будут работать хорошо. Неизолированная часть схемы на плате между медными чувствительными областями должна быть покрыта воском так, чтобы определялась влажность на полу, а не та, которая поглощена платой. Схема и сенсор могут быть протестированы путем прикосновения влажным пальцем к межэлектродному зазору.

Минимальная стоимость, простота и минимальный потребляемый ток дают преимущества генератору кода Морзе, показанному на рис. 14. Один генератор одновременно управляет динамиками на приёмной и передающей сторонах. Расчёты и практические тесты показывают продолжительность работы от одного щелочного элемента от 3 месяцев до года, в зависимости от использования. Другие зуммеры используют две и более батарей и работают значительно меньше.

Общедоступные дешёвые восьмиомные динамики эффективны в последовательном включении, чтобы лучше соответствовать характеристикам LM3909. Трёхпроводные системы и параллельные телеграфные ключи позволяют начинающим использовать устройство, не вдаваясь в понимание принципа работы приёмо-передающих ключей.

Всего два резистора добавляются, чтобы получить подходящую среднюю выходную мощность и заставить генератор формировать выходные импульсы с коэффициентом заполнения 50%. Акустически оба динамика работают на частоте резонанса (примерно 400 Гц в прототипе) для наиболее приятного тона с минимальным энергопотреблением. Держатели каждого из двух динамиков имеют дополнительные отверстия, чтобы усилить резонанс. Для каждого определённого типа или торговой марки динамика и размера корпуса размеры отверстий и ёмкость конденсатора должны определяться экспериментально для наиболее стабильного резонансного тона в пределах предполагаемого изменения напряжения батареи.

Эксперименты с вышеприведённой схемой привели к разработке устройства, показанного на рис. 15. Оно оптимизировано, чтобы генерировать на любой частоте акустического резонанса нагрузки. При использовании отдельно взятого динамика генерация происходит на частоте «свободного» резонанса. Если динамик помещён в корпус с более высокой резонансной частотой, она становится основной частотой генерации схемы.

Демонстрационный аудиоприбор, или просто игрушка для развлечения, был изготовлен следующим образом. Корпус прямоугольной формы объёмом примерно один кубический дециметр изготовлен из тонкой фанеры с одной открывающейся гранью в виде заслонки. Схема и батарея смонтированы на выдвижной стороне корпуса, а динамик располагается под отверстием размером 5 см. Для стравливания воздуха при открывании заслонки была сделана трубка длиной 6 см и шириной 0,8 см, чтобы не было влияния на резонансную частоту.

Проигрывание мелодии или изменяющихся тонов производят точным позиционированием заслонки и нажатием кнопки. Положение и направление сдвига заслонки выбирается интуитивно, поэтому нетрудно проиграть разумное подобие мелодии после нескольких попыток.

Резистор сопротивлением 12 Ом, включённый последовательно с выводом 2 (коллектором транзистора VT3) и динамиком, развязывает напряжения, генерируемые резонирующей системой динамика, от переключающего действия низкого импеданса VT3. Конденсатор ёмкостью 100 мкФ обеспечивает низкую или подтональную частоту генерации. Поэтому основное напряжение ПОС на выводе 8 генерируется резонирующим движением звуковой катушки динамика. Следовательно, LM3909 будет продолжать управлять динамиком на частоте резонанса с максимальной амплитудой.

Как было отмечено ранее, LM3909, управляя динамиком напрямую, выполняет функции, которые было труднее реализовать с помощью таймера или однопереходного транзистора. Два окончательных варианта схем звуковых эффектов показаны на рис. 16.

Сирена, показанная на рис. 16а, генерирует быстро нарастающее завывание при нажатии кнопки и более мед-

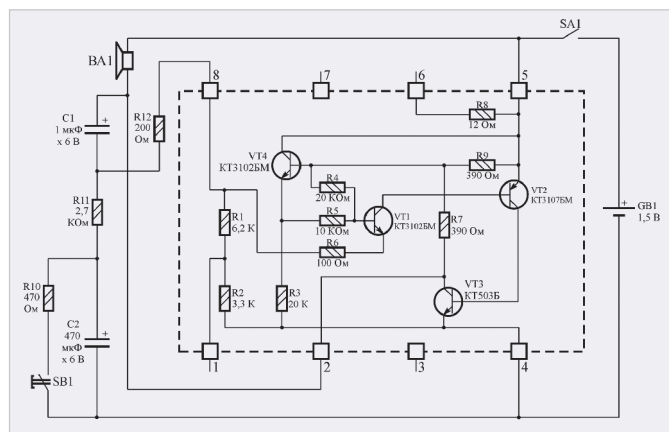


Рис. 16а. Схема электрическая принципиальная пожарной сирены

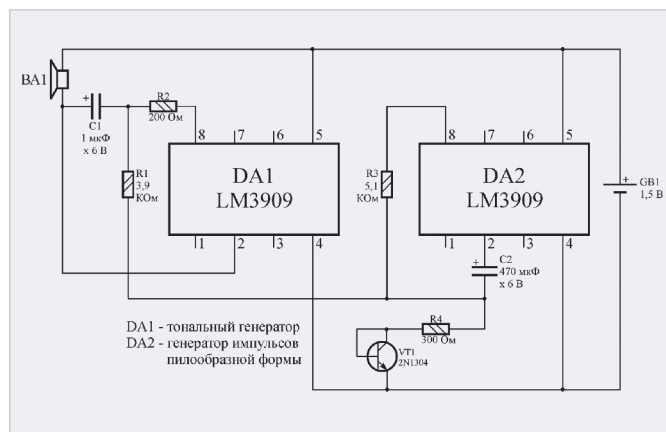


Рис. 16б. Схема электрическая принципиальная «завывающей» сирены

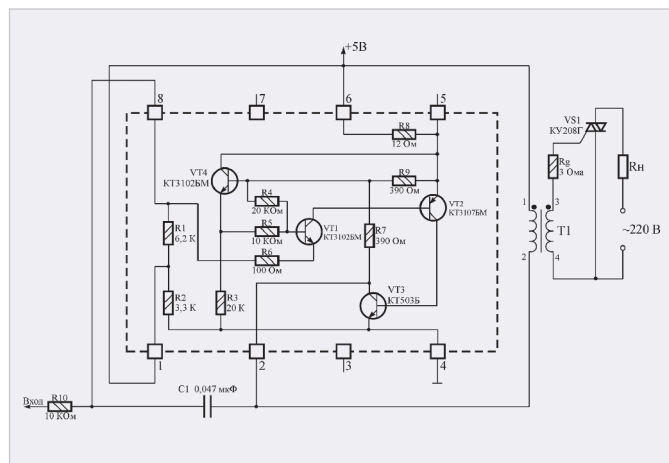


Рис. 17. Схема электрическая принципиальная триггера управляющего симистором

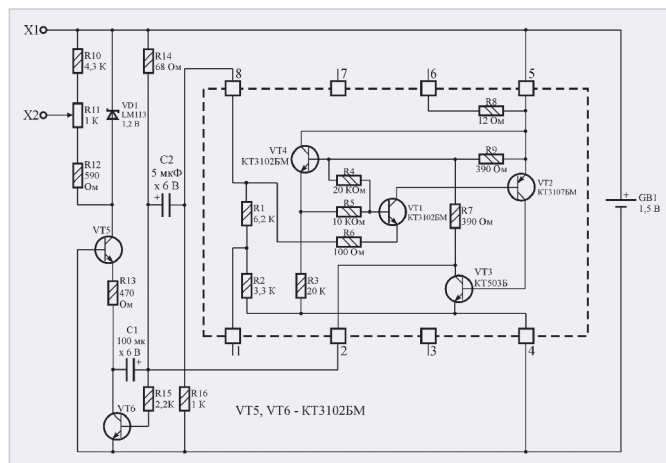


Рис. 18. Схема электрическая принципиальная калибратора осциллографа

ленный спад при отпускании. При желании останавливать звучание спустя некоторое время после отпускания кнопки между выводами 8 и 6 следует включить резистор сопротивлением 18 кОм. В таком случае звук становится похожим на сирену, управляемую двигателем.

В этой схеме акустический резонанс не должен влиять на частоту. Конденсатор ёмкостью 1 мкФ и резистор сопротивлением 200 Ом определяют длительность импульсов большую, чем для мигающих светодиодов, но меньшую, чем используется в перестраиваемых системах, показанных на рис. 14 и 15. Частота импульсов динамика определяется резистором сопротивлением 2,7 кОм и зарядом конденсатора ёмкостью 500 мкФ. Разряд этого конденсатора при нажатии кнопки увеличивает ток в резисторе (2,7 К), вызывая быстрое нарастание тона.

«Завыватель», показанный на рис. 16б, звучит подобно милицеской или пожарной электронной сирене. Быстрая модуляция заставляет звук

казаться громче при одной и той же входной мощности.

Тональный генератор тот же, что и в предыдущей сирене. Вместо нажимной кнопки быстро нарастающее и спадающее модулирующее напряжение формируется второй LM3909 и связанным с ней конденсатором ёмкостью 470 мкФ. Транзистор типа 2N1304 используется как низковольтный (германиевый) диод. Этот транзистор вместе с большим резистором в цепи обратной связи (5,1 кОм на выводе 8) заставляет пилообразный генератор на основе LM3909 работать в необычном режиме, обеспечивая более длинные включённые состояния и более короткие выключенные. Это приводит к нарастанию среднего тона генератора и заставляет модуляцию казаться более ровной.

Приложения: триггер и другие

Благодаря способности обеспечить большой выходной импульсный ток LM3909 хорошо подходит для

управления импульсными трансформаторами. Кроме того, она использует меньше внешних компонентов и работает более успешно при низких питающих напряжениях, чем другие схемы на однопереходных транзисторах. Симисторный триггер, показанный на рис. 17, работает от источника напряжением 5 В и обеспечивает отпирающий ток управляющего электрода с амплитудой до 200 мА.

При отсутствии входного сигнала или при входном высоком логическом уровне LM3909 выключена, поскольку вывод 1 подключён к плюсовой шине питания. При подаче на вход низкого логического уровня ИМС генерирует импульсы длительностью 10 мкс с частотой 7 КГц. Предполагается нагрузка выхода ТТЛ элемента только одной этой схемой, поскольку амплитуды выходного сигнала для наихудшего случая может быть недостаточно. Этот триггер не имеет синхронизации при переходе сетевого напряжения через ноль, поскольку первый выходной импульс после

запуска схемы может быть сформирован в любой момент. Однако частота повторения такова, что после первого цикла симистор переключается в диапазоне 8 В выше нуля с резистивной нагрузкой и переменным напряжением 115 В.

Стандартный трансформатор обеспечивает повышение тока 2:1 и подходящую изоляцию между низковольтной схемой и силовыми линиями с напряжением до 240 В. Резистор R_g , который включает сопротивление обмотки трансформатора, может быть сопротивлением всего лишь 3 или 4 Ом для сильноточных симисторов. Мощные симисторы могут потребовать чрезмерный ток удержания с очень малым сопротивлением R_g , а слаботочные с чувствительным управляющим электродами, наоборот, потребуют его увеличения до 100 Ом.

Генерация LM3909 начнётся, когда на вывод 8 поступит управляющее напряжение в диапазоне от 1,6 В до 3,9 В. На рис. 17 вывод 8 подключён между входным резистором сопротивлением 10 кОм и резистором сопротивлением 6 кОм к шине 5 В. При подаче на вход напряжения 3,8 В на выводе 8 формируется 4,5 В, поэтому генерации нет. При входном напряжении 1 В или менее на выводе 8 формируется напряжение 3,5 В или менее и начинается генерация. Из этого примера видно, что другие входные резисторы или делители опорного напряжения можно рассчитать, чтобы управлять LM3909 другими логическими уровнями.

Полезным прибором для электронной лаборатории является прецизионный генератор/калибратор прямоугольных импульсов. Если на выходе поддерживается напряжение на уровне десятков процентов от 1 В от пика до пика, он может быть полезен при калибровке осциллографов или юстировке щупов. Многие недорогие или портативные осциллографы не имеют такой встроенной функции. Подобный калибратор может быть полезен для снятия коэффициента усиления или передаточной характеристики различных усилителей класса Hi-Fi.

Оборудование, питающееся от батарей, свободно от неудобства использования сетевого шнура, а также шумовых и фоновых эффектов оборудования, подключаемого к сети. Работа в течение свыше пятисот часов от одного элемента ручного электриче-

ского фонаря – это преимущество схемы, показанной на рис. 18. Доступный регулятор с наиболее низким опорным напряжением типа LM113 используется совместно с источником тока и свойством вольтодобавки LM3909.

На выходе формируются строго прямоугольные импульсы, амплитуда которых может быть подстроена точно на уровне 1 В. Прямоугольные импульсы длительностью высокого уровня 1,5 мс и 5,5 мс низкого уровня были выбраны для простоты схемы и минимального энергопотребления. Ограничение формы импульсов практически ровное благодаря почти полному выключению токового ключа VT5 и типичному импедансу включённого состояния LM113, равному 0,2 Ом. Температурный коэффициент LM113, равный 0,01% при комнатной температуре, создаёт незначительный дрейф амплитуды импульсов в лабораторных условиях. Щупы прибора также создают незначительную нагрузку.

Схема будет хорошо работать при снижении напряжения питания до 1,2 В. Это происходит по той причине, что электролитический конденсатор ёмкостью 100 мкФ снижает потенциал эмиттера VT5 ниже потенциала «общего» провода. При напряжении батареи 1,2 В коллектор VT5 всё ещё способен обеспечить размах сигнала более чем 1,6 В. Транзистор VT5 использует «выключенные» состояния LM3909, чтобы гарантировать зарядку конденсатора ёмкостью 100 мкФ почти до напряжения источника питания. Таким образом, когда LM3909 включается, и напряжение на выводе 2 снижается почти до нуля, напряжение на минусовой обкладке конденсатора снижается до значения $-0,9...-1,2$ В. Снижение напряжения источника питания не может привести к неопределяемой ошибке прямоугольных импульсов амплитудой 1 В. Это происходит потому, что форма искажается больше, чем снижается амплитуда, когда напряжение батареи становится слишком низким.

Учитывая преимущества универсальности и отказоустойчивости LM3909 при работе от низковольтной батареи напряжением 1,5 В, ИМС становится идеальным обучающим средством для человека, увлечённого электронным хобби. Наряду с уже представленными схемами LM3909 может работать как усилитель, радиоприёмник и даже схема логического

типа. Могут быть реализованы идеи положительной и отрицательной обратной связи. Схемные решения, представленные на рис. 19–23, предназначены для иллюстрации или демонстрации схемных концепций, которые могут использоваться в экспериментальных устройствах. Но в то же время не подразумевается их использование в завершённых коммерческих продуктах с определёнными спецификациями производительности. Другими словами, схемы прошли макетирование, но измерения диапазона рабочих частот и коэффициента искажений не производились.

Обе схемы, показанные на рис. 19 и 20, используют стандартные ферритовые антенны, изготовленные в виде катушек с ответвлением от 40% витков с одного конца. Генератор работает с частотой до 800 кГц или чуть выше, поэтому приёмник работает в стандартном вещательном диапазоне с амплитудной модуляцией. Обе схемы также используют стандартные (360 пФ) подстроечные конденсаторы.

Генератор имеет обычную ёмкостную цепь ПОС, используемую для LM3909, но с частотой, определяемой перестраиваемой схемой, нагруженной на выходной каскад. Детальное описание работы этих экспериментальных схем приводиться не будет для уменьшения объёма статьи. В завершение будут рассмотрены общие теоретические вопросы функционирования ИМС, которые будут полезны в понимании принципа работы отдельных схем.

В схеме радиоприёмника, показанной на рис. 20, LM3909 работает как детектирующий усилитель. Она не генерирует, поскольку не существует ПОС от вывода 2 к выводу 8. Настройка схемы так же проста, как и в случае с обычным детекторным радиоприёмником, но местная радиостанция может обеспечить достаточную громкость при работе на шестидюймовый громкоговоритель. Чрезвычайно низкое энергопотребление обеспечивает непрерывную работу от одного элемента в течение одного месяца.

Антенна для схемы радио может быть короткой (от 3 до 6 метров) и подключаться непосредственно к выводу катушки, как показано. Более длинная антенна (от 9 до 15 м) работает лучше, если её подключить к отводу катушки, упомянутому ранее, как показано на рис. 20.

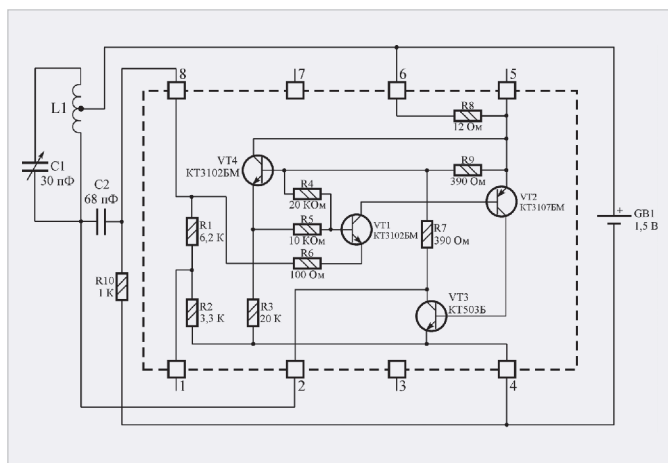


Рис. 19. Схема электрическая принципиальная высокочастотного генератора

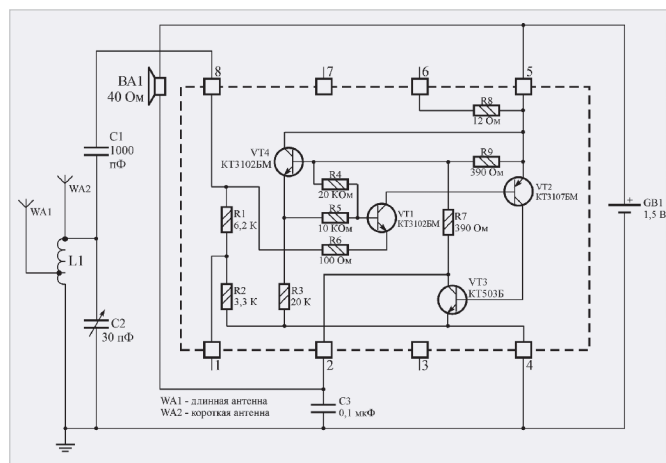


Рис. 20. Схема электрическая принципиальная радиоприёмника

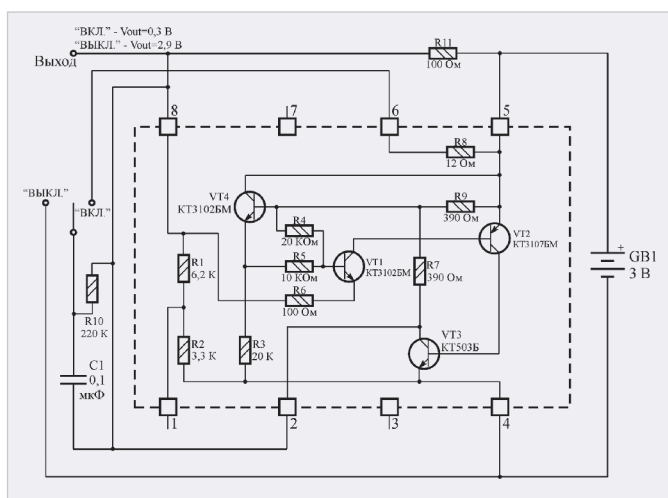


Рис. 21. Схема принципиальная электронной защёлки

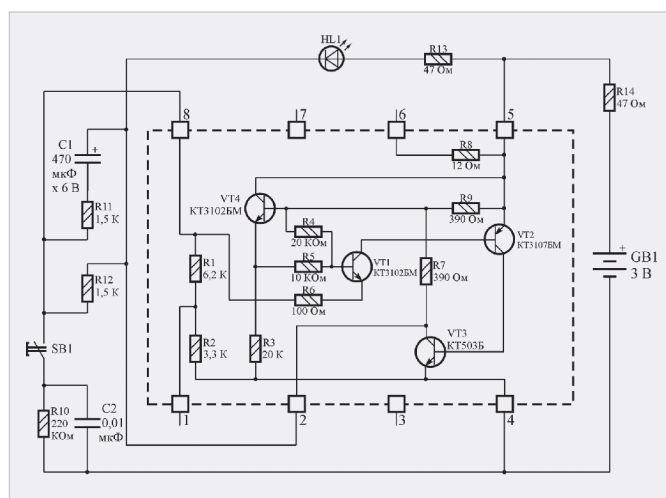


Рис. 22. Схема электрическая принципиальная индикатора-одновибратора

Следующие две схемы иллюстрируют примеры функций логического или вычислительного типа. Они используют источник питания с напряжением 3 В (два элемента), поскольку LM3909 сконструирована, чтобы не иметь устойчивых или «фиксированных» состояний при напряжении питания 1,5 В.

Переключения обеих вышеприведённых схем происходят моментально. В каждом случае малый заряд или импульс влияет на состояние схемы. Схема, показанная на рис. 21, переключается и сохраняет своё состояние при возврате переключателя, даже если контакт замыкался кратковременно.

Схема, показанная на рис. 22, формирует одиночную вспышку светодиода длительностью 0,5 секунды при нажатии кнопки независимо от продолжительности нажатия. Такие схемы используются с клавиатурами, концевыми выключателями и другими механическими контактами, кото-

рые должны формировать данные для цифровых электронных систем.

Если игнорировать конденсатор цепи ПОС, LM3909 может стать мало мощным усилителем, как показано на рис. 23. Этот небольшой аудиоусилитель может использоваться в системе односторонней связи или подслушивания в различных ситуациях. Потребляемый ток составляет всего 12–15 мА. Он может усиливать едва слышимые звуки, а прямой разговор в микрофон генерирует полный размах сигнала 1,4 В.

Рекомендации по применению

При напряжении питания 1,5 В могут возникнуть определённые проблемы с остановкой генерации или мигания. Из-за способа получения усиления и типа обратной связи слишком большая нагрузка может предотвратить генерацию LM3909. Иногда бывает достаточно чисто резистивной нагрузки величи-

ной 20 Ом. Может показаться странным, но нить лампы накаливания не следует этому правилу, вероятно, из-за индуктивного характера нагрузки. Также в схемах мигающих сигнализаторов светодиод с утечкой или проводимостью в диапазоне напряжений от 0,9 до 1,2 В прекратит генерацию LM3909. Возможно, 1% светодиодов имеют такой дефект, поскольку они не часто на него тестируются.

Высокая стабильность частоты была не единственной целью разработок на основе LM3909. В схемах светодиодных сигнализаторов она выше, чем могла ожидать, поскольку отрицательный температурный коэффициент частоты светодиодов частично компенсирует ИМС. Он учитывался в разработках. Простые генераторы без светодиодов не имеют компенсации в диапазоне температур. Это происходит благодаря использованию одной целой и шести десятых части падения напряжения на кремниевом переходе в

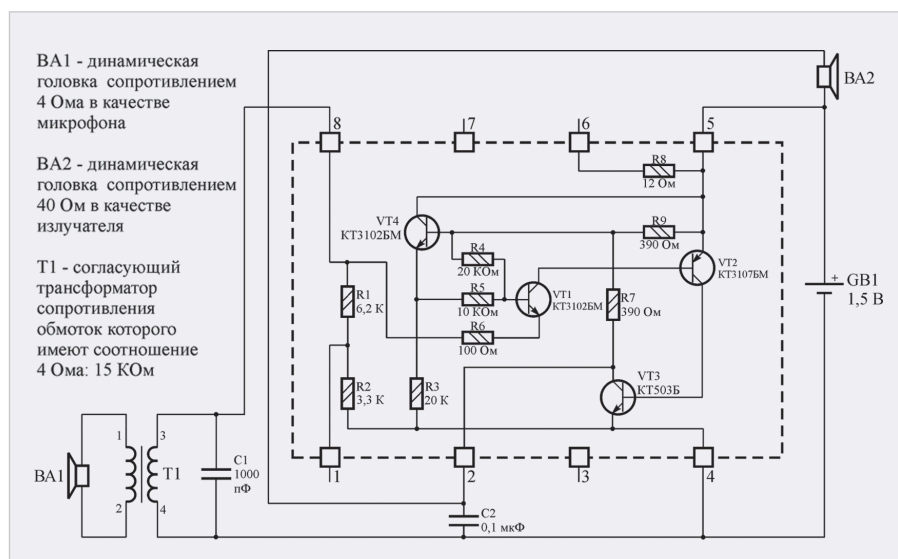


Рис. 23. Схема электрическая принципиальная микромощного усилителя. ВА1 – динамическая головка сопротивлением 4 Ома в качестве микрофона, ВА2 – динамическая головка сопротивлением 40 Ом в качестве излучателя, Т1 – согласующий трансформатор сопротивления, обмоток которого имеет соотношение 4 Ом / 15 кОм

качестве точки излома включения-выключения, а также использования интегральных времязадающих резисторов со своим положительным температурным коэффициентом. Кроме того, большинство используемых в схемах конденсаторов ёмкостью 1 мкФ и более будут электролитическими по причине уменьшения размеров. Такие конденсаторы не очень стабильны в диапазоне температур, поэтому их допустимые отклонения изменяются значительно в зависимости от типа конденсатора.

В большинстве генераторных схем частота также пропорциональна напряжению питания. Это следует учитывать при использовании совершенно свежего элемента с напряжением 1,54 В, а также какое будет конечное напряжение в конце срока эксплуатации. Оно может быть в диапазоне 0,9–1,1 В, что значительно отличается. Это напоминает о том, насколько ярко будут гореть светодиоды от свежих элементов, и насколько тусклыми они станут при разряде.

Мигалки и тональные генераторы для сигнализаций, однако, не требуют стабильности. Изменение частоты всплеск на 50% или сдвиг тона на половину октавы не очень раздражает или даже обращает на себя внимание.

Один интересный момент состоит в том, что низкая потребляемая мощность большинства представленных схем позволяет запитывать их от солнечных элементов так же, как от обыч-

ных батарей. При ярком свете может потребоваться от 3 до 4 последовательно включённых элементов. При меньшем освещении потребуется от 4 до 6 элементов. Энергии солнечных элементов будет вполне достаточно для запитывания большинства схем, но для работы схем, потребляющих большой импульсный ток (симисторный драйвер), потребуется включение блокирующего конденсатора большой ёмкости параллельно батарее солнечных элементов.

LM3909 была сконструирована, по сути, самозапускающейся в качестве генератора, и схемы светодиодных сигнализаторов как раз таковыми являются при любом напряжении, потому что нагрузка имеет нелинейный характер. Нагрузка с достаточно большой самоиндукцией будет всегда самозапускаться, хотя, возможно, на более высокой частоте, чем ожидается. Исключением являются большие резистивные нагрузки для генераторов, работающих при напряжениях больше, чем 2 или 2,5 В. Устойчивое состояние существует при полностью открытом VT3, и времязадающие резисторы между выводом 8 и минусом питания всё ещё потребляют ток. Надёжным решением является привязка вывода 8 (к примеру, с помощью резистора к плюсовой шине питания) так, чтобы напряжение на нём было меньше половины питающего напряжения.

Коэффициент заполнения простейшего светодиодного сигнализатора, по

сути, небольшой, поскольку времязадающий конденсатор также управляет очень низким импедансом включённого светодиода. Для других генераторов длительность импульсов может быть увеличена добавлением резистора последовательно с конденсатором. Дополнительно нелинейное сопротивление может использоваться в качестве времязадающего (рис. 16).

Заключение

Приложения, рассмотренные в статье, находят применение от игрушек до лабораторных приборов и покрывают частотный диапазон от постоянного тока до радиодиапазона. LM3909 может использоваться для развлечения, обучения или даже, в особых случаях, для спасения жизни. С точки зрения практической стоимости LM3909 может часто заменить схему, имеющую множество транзисторов и других компонентов, а также высокую стоимость сборки.

Кроме того, LM3909 демонстрирует практичность очень низковольтных электронных схем. Они могут работать крайне эффективно, если проявлен искусный подход при разработке с учётом падений напряжений на переходах транзисторов. В подобных схемах электрический стресс компонентов настолько мал, что они могут прослужить очень длительное время. Другие транзисторы, конденсаторы и т.д., которые стали бы производственным браком при более высоких напряжениях, тоже могут использоваться. Делители напряжения, защитные диоды и т.д., часто необходимые при более высоких напряжениях, могут быть исключены из конструкций. Токи потребления настолько малы, что схемы могут работать от нескольких месяцев до нескольких лет от одного элемента.

Один элемент более надёжен и энергоёмок, чем батарея из нескольких элементов. Это происходит благодаря отсутствию изоляции и межсоединений элементов, а также необходимости упаковки нескольких элементов в один корпус-держатель.

Литература

1. National Semiconductor Corporation. 1,3V IC Flasher, Oscillator, Trigger or Alarm. AN-154.pdf. URL: <https://www.datasheetarchive.com/datasheet/AN-154/National-Semiconductor?id=dba90007922b7ff0&term=AN-154>. ©

Анализ зашумлённых сигналов на осциллографах VESNA серии OVS3

Николай Лемешко, Александр Агуреев

В статье анализируются способы повышения качества результатов измерений сигналов в присутствии аддитивного шума различной природы. В работе выделены типовые источники шума, а также выполнен обобщающий анализ способов, реализация которых позволяет тем или иным образом снизить уровень шума либо повысить уровень полезного сигнала. Для одного из таких способов, основанного на построении автокорреляционных функций, оценена эффективность в части измерения амплитуды и частоты синусоидального сигнала на фоне гауссовского шума. Приведены примеры измерений зашумлённых сигналов, выполненных с использованием осциллографа VESNA OVS3, позволяющие наглядно судить о потенциальных возможностях снижения уровня гауссовского шума при усреднении осциллограмм, ограничении полосы пропускания и при использовании внешнего фильтра.

Введение

Настоящий период развития электроники отличается широким использованием сигналов всё меньшей мощности, что продиктовано эволюцией микроэлектронной компонентной базы в направлении уменьшения технологических норм. С другой стороны, повышается плотность монтажа и трассировка проводников печатных узлов, что приводит к возникновению перекрёстных помех, способных иметь шумовой или импульсный непериодический характер. Такие составляющие являются аддитивными по отношению к измеряемым сигналам и часто имеют с ними перекрывающиеся полосы частот. Они могут наблюдаться при инструментальном анализе сигналов во временной и в частотной областях.

Следующей причиной появления шума при измерениях могут быть кондуктивные и излучаемые помехи, порождённые вне объекта измерений. К этой группе помех относятся и те, которые образованы наводками на измерительную оснастку или цепи объекта измерений, вызванные сторонними электромагнитными полями. Классическим примером в этом смысле является распространение помехонесущих токов по цепям заземления ввиду их повышенного полного сопротивления [2]. В результате такие цепи приобретают плавающий потенциал, колебания которого проявляются на осциллограммах в виде аддитивной составляющей. Для

сигналов сравнительно малого уровня она может иметь существенное относительное значение.

Наконец, третья возможная причина появления дополнительного шума кроется в трактах самого осциллографа и состоит в очевидном снижении отношения «сигнал/шум» при анализе сигналов с амплитудными характеристиками на уровне чувствительности прибора. При этом на экране прибора при минимально возможной цене деления по амплитуде наблюдается аддитивный случайный процесс с нормальным распределением и среднеквадратичным отклонением, зависящим от эффективного числа разрядов аналого-цифрового преобразования и мощности привнесённого трактом широкополосного шума.

Таким образом, выполнение реальных измерений, в особенности по месту эксплуатации электронных устройств, весьма часто сопровождается наличием аддитивного шума в измеряемых сигналах. Очевидно, что даже если шумовая составляющая не маскирует полезный сигнал, её наличие всё равно негативно влияет на точность результатов измерений и их качество в целом: большой разброс приобретают значения результатов автоматических измерений, а для периодических сигналов снижается межпериодная корреляция. Ввиду этого целесообразно рассмотреть методы, позволяющие снизить влияние аддитивного шума на качество результа-

тов приборного анализа сигналов во временной области.

Основные способы снижения влияния шумов на результаты анализа сигналов во временной области

Номенклатура способов снижения влияния шума на результаты анализа сигналов во временной области и качество их наблюдения на экране осциллографа оказывается весьма широкой, однако применимость каждого из них определяется причиной появления нежелательных аддитивных составляющих и частными условиями решения измерительной задачи. Важно подчеркнуть, что все рассматриваемые ниже методы не будут эффективными, если сигнал и шум образованы их свёрткой [3]. Для таких случаев должна применяться гомоморфная обработка.

Усреднение, реализуемое современными цифровыми осциллографами по заданному количеству осциллограмм, позволяет уменьшить уровень отображаемого шума за счёт его статистической компенсации. Это хорошо работает, если речь идёт о шуме с нормальным или, по крайней мере, симметричным распределением и нулевым математическим ожиданием. Способ в основном применяется для периодических сигналов, однако при специальных типах запуска развёртки применим и для непериодических сигналов. В [4] отмечается, что такое усреднение позволяет получить улучшение отношения сигнал/шум порядка 1,4 дБ, или 28%.

Ограничение полосы пропускания также является базовой функцией современных осциллографов. Для распространённых любительских приборов с полосой 100 МГц частота среза обычно соответствует 20 МГц, что позволяет снизить уровень широкополосного шума в 5 раз, или на 7 дБ. Более дорогие профессиональные осциллографы имеют настраиваемую частоту среза, что позволяет адаптировать ограничение полосы пропускания под конкретный измеряемый



Рис. 1. Способы снижения влияния шумов на результаты анализа сигналов во временной области

сигнал. Ключевым фактором использования данного способа, равно как и почти всех рассматриваемых ниже других, является получение достоверных результатов измерений, поэтому во избежание влияния фильтрации на измеряемый сигнал (ИС) необходимо иметь о нём априорную информацию в достаточном объёме. В данном случае требуется знать полосу частот, занимаемую ИС.

Цифровая фильтрация ИС может выполняться в двух вариантах. Некоторые модели цифровых осциллографов имеют настраиваемые пользователем цифровые фильтры всех четырёх наиболее распространённых типов: полосовые, режекторные; нижних, верхних частот. Как правило, они имеют порядок не выше двух для ограничения вычислительных затрат. Другой вариант выполнения цифровой фильтрации состоит в том, что она реализуется в специальных программах, например, в MATLAB. Во всех случаях, где в схеме на рис. 1 требуется математическая обработка, с осциллографа получают последовательно взятые выборки, т.е. он фактически служит аналого-цифровым преобразователем с изменяемыми настройками. Передача отсчётов в программу, выполняющую обработку, может осуществляться посредством стандартных интерфейсов или путём их сохранения в файл. Эффективность цифровой фильтрации, которая может быть достигнута такой внешней обработкой, оказывается намного выше, и сравнительно легко могут быть синтезированы фильтры с порядком более 10 [5].

Во многом сходным решением является использование внешних фильтров, в том числе перестраиваемых. Здесь уже не требуется математическая обработка, однако необходим подходящий фильтр, который должен быть подвергнут предварительной калибровке. Особое внимание следует обратить на то, что в самих фильтрах могут возникать резонансные явления [2], способные вносить заметные искажения в форму ИС. Ввиду этого можно рекомендовать использование таких изделий в интегральном исполнении.

В теории обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) решение упомянутой выше проблемы «загрязнения» потенциала земли помехонесущими токами отнесена к сфере фильтрации. Однако здесь имеется та особенность, что помехонесущие токи нельзя просто направить в цепи заземления в привычном понимании: они уже циркулируют в них. Ввиду этого необходимо использовать специальные решения. Первое из них состоит в том, что цепи заземления осциллографа придаётся повышенное полное сопротивление на частотах выше нескольких килогерц, для чего в неё включается индуктивность на ферритовом магнитопроводе. Второй вариант состоит в проектировании заземления для качественной работы на высоких частотах, когда минимизируется полное сопротивление проводников за счёт повышения их ширины, не применяются магнитные материалы и каждый прибор подключается отдельной шиной к точке заземления.

Альтернативным решением является применение разделительных трансформаторов и отдельного «чистого» заземления для организации электропитания средств измерений, которое может быть изготовлено в виде ряда штырей, погружённых в грунт под зданием и соединённых по принципу сетки при помощи медных или латунных полос с соблюдением требований по защите мест соединения от коррозии. Такое заземление иногда называют координатным [6], оно отличается низкой индуктивностью и стабильностью потенциала, но при условии, что вблизи строения нет источников блуждающих токов: трамвайных, железнодорожных путей, станций катодной защиты трубопроводов и т.п.

Применение экранирования совместно с фильтрацией целесообразно в отношении измерительной оснастки и объекта измерений, если измерения проводятся в условиях напряжённой электромагнитной обстановки. Ключевой особенностью является необходимость их правильного сочетания с фильтрами, когда они взаимно дополняют друг друга, обеспечивая электромагнитную герметичность. Если объект исследований невозможно экранировать, то применяют защищённые экраном линии передачи, заземлённые с обеих сторон, а на входе осциллографа ставят подходящий фильтр. Применение экранов должно сопровождаться априорной информацией о полосе частот и интенсивности воздействующего электромагнитного поля, поскольку эффективность экранирования снижается с ростом частоты.

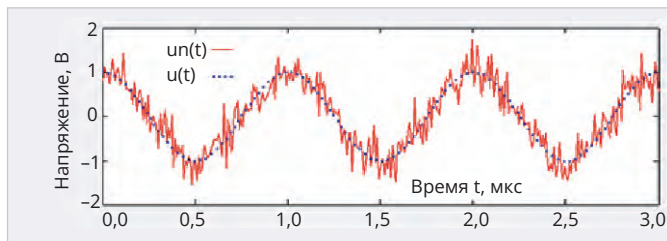


Рис. 2. Пример графиков функций $un(t)$ и $u(t)$ при нормально распределённом аддитивном шуме

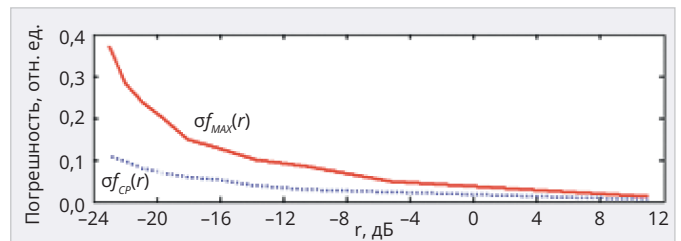


Рис. 4. Зависимости $\delta f_{MAX}(r)$ и $\delta f_{CP}(r)$, полученные на основе статистических розыгрышей

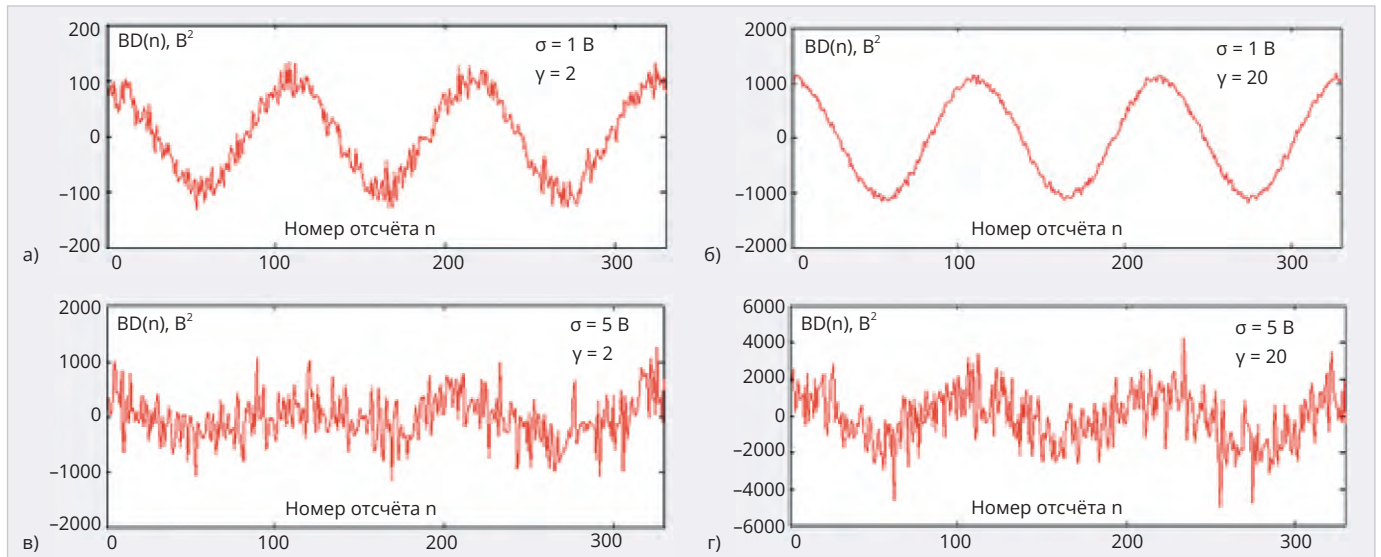


Рис. 3. Примеры графиков АКФ, построенные для: а) $\sigma = 1 В$; $\gamma = 2$; б) $\sigma = 1 В$; $\gamma = 20$; в) $\sigma = 5 В$; $\gamma = 2$; г) $\sigma = 5 В$; $\gamma = 20$

ты. Эти данные могут быть получены с использованием спектрального анализа в рамках предварительного инструментального анализа электромагнитной обстановки.

Предварительное усиление ИС позволяет повысить его уровень относительно внутреннего шума осциллографа. Основные требования к усилителю состоят в соответствии полосы рабочих частот ИС, в низких интермодуляционных искажениях, в достаточности динамического диапазона и малой неравномерности амплитудно-частотной характеристики. Для сигналов с широкой полосой частот также вводятся требования по согласованию с источником ИС и входом осциллографа. Фазочастотная характеристика должна быть линейной. Применение широкополосных усилителей, как это следует из приводимой ниже оценки, представляется предпочтительным и допустимым несмотря на то, что они обычно имеют более высокий средний коэффициент шума (КШ).

Рассмотрим в качестве примера случай, когда канал осциллографа имеет входное сопротивление $R_{вх} = 50 \text{ Ом}$, что наиболее соответствует потребности в усилении слабых сигналов перед

осциллографическим анализом. Пусть к нему подключён усилитель с известным коэффициентом усиления G_{AMP} , а максимально допустимый его коэффициент шума F_{AMP} подлежит обоснованию. Шум измерительного тракта осциллографа с КШ F_{OSC} является широкополосным и имеет тепловую природу, что позволяет сопоставить ему постоянную спектральную плотность в полосе рабочих частот осциллографа f_p , а саму эту полосу считать эффективной полосой пропускания прибора по аналогии с приёмными устройствами. Согласно правилу учёта шумовых свойств последовательно включённых четырёхполюсников [4] его значение для такой схемы составит

$$F = F_{AMP} + (F_{OSC} - 1) / G_{AMP}. \quad (1)$$

Пусть минимальная цена деления вертикальной развёртки осциллографа составляет U_{CD} , количество вертикальных делений с ценой U_{CD} равняется K , а разрядность аналого-цифрового преобразователя осциллографа составляет N . Тогда шаг квантования по амплитуде в сечении оцифровки вне зависимости от природы напряжения составит $\Delta U = KU_{CD} / (2^N - 1)$. Тепловой шум имеет нормальное распределение и может быть охарактеризован среднеквадра-

тичным значением U_N , которое может быть определено несколькими путями. Если известно количество разрядов N_N охваченных шумовым процессом, то с учётом правила 3σ , устанавливающего, что в пределах трёх среднеквадратичных отклонений от математического ожидания лежит 99,72% нормально распределённых случайных значений, U_N может быть оценено следующим образом:

$$U_N = 2^{N_N} \Delta U / 6 = \frac{2^{N_N-1} KU_{CD}}{3(2^N - 1)}. \quad (2)$$

Второй способ определения U_N во многом аналогичен первому и состоит в том, что по амплитудной шкале осциллографа на некотором интервале времени определяется размах шума, и U_N приравнивается его 1/6 части. Очевидно, что такие оценки U_N в трактовке статистической теории будут являться смещёнными, и их среднее значение при увеличении количества реализаций может не сходиться асимптотически к истинному среднеквадратичному значению с ошибкой до 20%, как это следует из проведённых статистических расчётов. Более точные оценки даёт метод оценки U_N на основе автоматических измерений, когда учитываются все значения отсчётов шума,

зарегистрированные прибором в отсутствие сигнала на входе. Если же такая функция недоступна, то несмещённую оценку U_N можно получить так [7]:

$$U_N = \sqrt{\frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J U_j^2}, \quad (3)$$

где U_j – оцифрованные отсчёты шума. Эта оценка асимптотически сходится к истинному среднеквадратичному значению при $J \rightarrow \infty$. Согласно оценочным расчётам, при $J = 300$ ошибка оценки U_N не превосходит 6%. В уравнении (3) математическое ожидание принято равным нулю, что соответствует природе шума с симметричным статистическим распределением, порождённо сочетанием случайных процессов.

Из изложенного следует, что среднеквадратичное значение шума для конкретного образца осциллографа может быть получено без применения каких-либо дополнительных средств измерений, и потому его можно считать известным. Оно однозначно характеризует шумовую температуру и коэффициент шума тракта осциллографа в целом [8]. Исходя из принятого их определения и математической связи, можно показать, что

$$F_{osc} = \frac{U_N^2}{R_{вх} k_0 T_0 f_p} + 1, \quad (4)$$

где $k_0 = 1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, T_0 – температура окружающей среды, f_p – полоса рабочих частот осциллографа при текущих настройках. Усилитель, используемый для повышения мощности сигнала, сам также является источником широкополосного теплового шума в полосе усиления. Поскольку внутренний шум осциллографа с ним не коррелирован, то их мощности будут складываться алгебраически. Пусть γ – допустимая кратность увеличения мощности отображаемого шума. С учётом изложенного выше можно показать, что максимально допустимое значение F_{AMP} составит $F_{AMP} = (\gamma - 1)(F_{osc} - 1)$, и в это выражение при необходимости может быть подставлено уравнение (4) для F_{osc} . С учётом (1) получаем, что коэффициент шума измерительной системы в целом составит $F = (\gamma - 1 + 1/G_{AMP})(F_{osc} - 1) + 1$.

Рассмотрим расчётный пример. Пусть N и N_N равны соответственно 8 и 1,5 бит, $K = 10$, $U_{cd} = 1$ мВ, $f_p = 100$ МГц; $\gamma = 2$, $G_{AMP} = 40$ (или 16 дБ). Тогда $U_N = 18,5$ мкВ, $F_{osc} = F_{AMP} = 17,5$ (или 12,4 дБ), $F = 17,9$ (или 12,5 дБ). Исходя из изложенного, а также проведённых рас-

чётов, можно сформулировать следующие выводы по использованию предварительного усиления в приложении к рассматриваемой проблеме. Усилители, как это заявлялось выше, могут не отличаться низким уровнем шума, но должны иметь высокий коэффициент усиления и, что не менее важно, равномерные амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики в рабочей полосе осциллографа.

Все перечисленные выше способы повышения качества измерений во временной области, как следует из их сути, направлены на снижение мощности шума, суммируемого с ИС по тем или иным причинам. Для ИС, подвергнутых такой обработке, в дальнейшем могут быть проведены курсорные, автоматические и иные измерения с получением более точных результатов и при классическом наблюдении осциллограмм на экране прибора или компьютера. Однако представленные методы не в состоянии в должной степени выделить ИС при слишком малом отношении мощностей сигнала и шума при значительном перекрытии их полос частот. В этом случае целесообразно применение более сложных подходов: автокорреляционного и вейвлет-анализа. Эти способы обработки направлены не на восстановление формы зашумленных сигналов, а на определение отдельных их амплитудных и временных характеристик. Справедливости ради надо отметить, что некоторые осциллографы высшего класса типа имеют в составе базовой математики способность построения функций взаимной корреляции [9], однако это не является распространённой нормой. Поэтому в схеме на рис. 1 названные способы отнесены к требующим математической обработки вне осциллографа.

Автокорреляционный анализ, применяемый для периодических сигналов либо для периодически продолженных фрагментов непериодических сигналов, позволяет за счёт статистической компенсации случайных компонент шума выявить их амплитудные, временные и фазовые особенности [3]. Вейвлет-анализ направлен на выявление в зашумлённом сигнале импульсных компонент и является частным случаем разложения сигналов в негармонические ряды [10]. Эффективность проведения анализа данных видов зависит от объёма и качества выборки, интервала инте-

грирования и, конечно же, фактического соотношения мощностей сигнала и шума. Для обоих видов анализа необходимы априорные сведения о сигнале, например, о приближённом значении периода, форме амплитуды и т.д., чтобы, во-первых, правильно выбрать интервал захвата выборок и, во-вторых, получить адекватные измерительной задаче результаты.

Представленное перечисление способов повышения качества измерений не является исчерпывающим. К другим из них могут быть отнесены:

- парное преобразование Фурье для периодических и непериодических сигналов с выделением участка спектра для обратного восстановления;
- взаимная корреляция измеряемого сигнала с опорным сигналом или функцией;
- прямая компенсация шума на основе результатов наблюдения электромагнитной обстановки.

Реализация автокорреляционного анализа и оценка его эффективности

Ценность автокорреляционной обработки в приложении к рассматриваемой задаче состоит в простоте её реализации, поэтому целесообразно в рамках настоящей статьи привести о ней некоторые результаты оценки эффективности. Пусть ИС является гармоническим и имеет функцию $u(t) = A \cos(2\pi ft)$, где A – его амплитуда, t – время, f – частота, являющаяся оцениваемым параметром. Пусть σ – среднеквадратичное значение нормально распределённого белого шума $n(t)$, аддитивного по отношению к ИС, а функция $in(t) = u(t) + n(t)$ – сумма шума и ИС. Будем считать задачей автокорреляционного анализа оценку значения частоты f измеряемого сигнала.

Пример сигнала $in(t)$, построенного при $\sigma = 0,3$ В, $A = 1$ В и $f = 1$ МГц по выборкам, взятым с частотой $f_s = 110$ МГц, приведён на рис. 2. Как видно, непосредственная оценка искомых параметров по графику функции весьма затруднена: шум не позволяет однозначно определить положение характерных точек гармонического сигнала для отсчёта периода.

Рассматриваемый вид анализа реализуется на основе построения автокорреляционных функций (АКФ). Для непрерывного сигнала $g(t)$, определённого для любого момента времени, АКФ

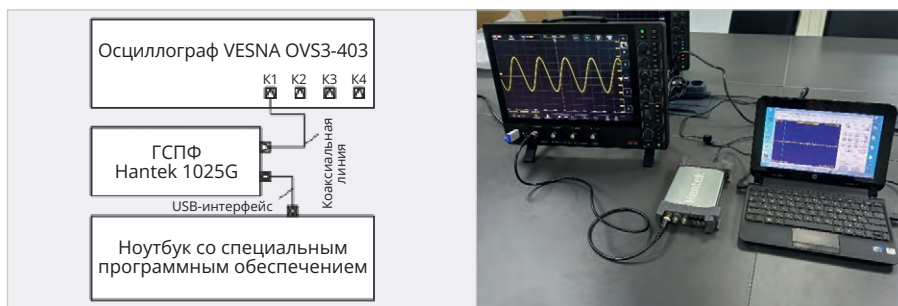


Рис. 5. Измерительная установка для случая прямого соединения осциллографа и генератора: а) схема; б) фотография



Рис. 6. Измерительная установки для случая соединения осциллографа и генератора через фильтр: а) схема; б) фотография



Рис. 7. Фотография фильтра



Рис. 8. «Эталонная» осциллограмма ИС без аддитивного шума и результаты автоматических измерений

зависит от смещения τ и рассчитывается по формуле [10]:

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)g(t-\tau)dt. \quad (5)$$

Для периодических сигналов АКФ также будет периодической и с тем

же периодом, что позволяет определить значение периода $T = 1/f$ и далее искомую частоту. Отличия (5) от реально используемых выражений состоят в следующем. Реальные сигналы всегда определены на ограниченном интервале времени, поэтому пределы сум-

мирования при расчёте АКФ будут конечными. Практика показала, что для характеристики интервала расчёта АКФ периодических сигналов коэффициент $\gamma = t_H/T$, где $t_H \geq T$. Поскольку после оцифровки данные представлены в виде эквидистантных по времени отсчётов, значение τ может изменяться только с дискретным шагом, кратным $1/f_s$. Принимая, что функция $un(t)$ определена для неотрицательных значений времени, будем рассматривать дискретную АКФ в виде

$$BD(n) = \sum_{i=0}^{\text{floor}(n/f_s)} un(i/f_s)un((i+n)/f_s), \quad (6)$$

где $n \geq 0$ – целочисленный коэффициент смещения; $un(i/f_s)$ – отсчёты функции $un(t)$. Значения $BD(n)$ рассчитываются для шага по времени, равного $1/f_s$. Соответственно, интервал времени между смежными максимумами такой АКФ будет характеризовать период синусоидального сигнала и его частоту. Если такие максимумы соответствуют значениям n_1 и n_2 , то оценка частоты $f^* = f_s / |n_1 - n_2|$.

На рис. 3 в пределах двух периодов синусоидального сигнала построены графики АКФ при $\gamma = 2; 20$ и $\sigma = 0,2; 5$ В и тех же прочих характеристиках. Из сопоставления форм АКФ могут быть сделаны следующие выводы.

1. Увеличение интервала суммирования, т.е. γ , позволяет существенно снизить шум в составе АКФ, если σ имеет порядок амплитуды измеряемого гармонического сигнала.
2. Для $\sigma > A$ такой эффект также наблюдается, но снижение случайных составляющих в АКФ оказывается заметно меньше, а наличие у зависимости $BD(n)$ существенных выбросов будет осложнять применение формальных методов поиска её экстремумов.

Исходя из этого, для вычисления АКФ $BD(n)$ целесообразно выбирать значения $\gamma > 1$, что означает пропорциональное увеличение вычислительных затрат. Можно ожидать, что для некоторого отношения A/σ автокорреляционный метод утратит способность обеспечивать оценку частоты сигнала с точностью не хуже заданной.

В качестве меры точности рассматриваемого метода будем использовать максимальный модуль относительного отклонения оценки частоты f^* от её истинного значения f и среднее отклонение. Эти величины обозначим δf_{MAX} и δf_{CP} соответственно. Поскольку в расчётах применяются случайные значе-

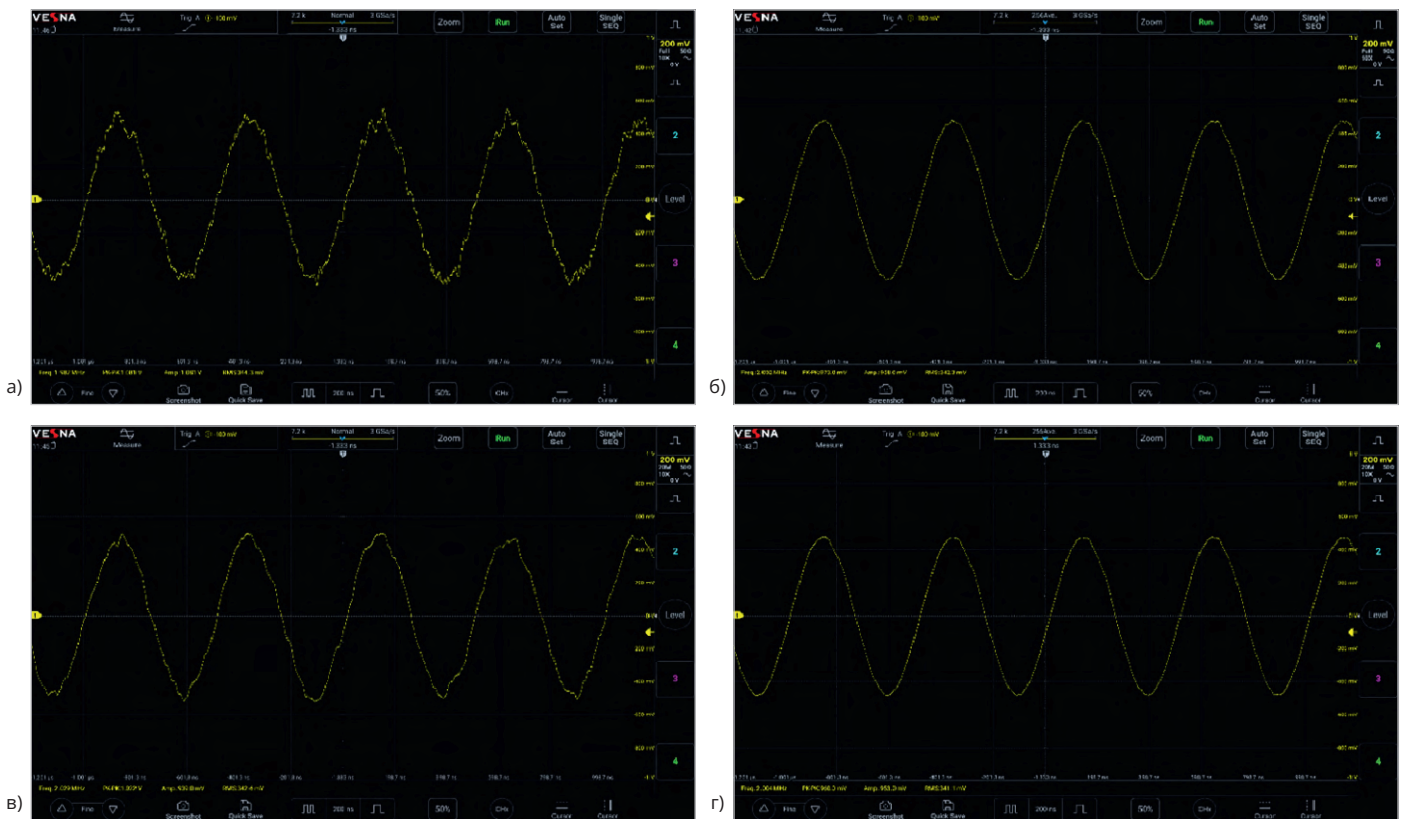


Рис. 9. Результаты измерений при наличии аддитивного шума с $\sigma = 0,05$ В:
 а) без дополнительной обработки; б) при УО; в) при ОПП; г) при УО и ОПП

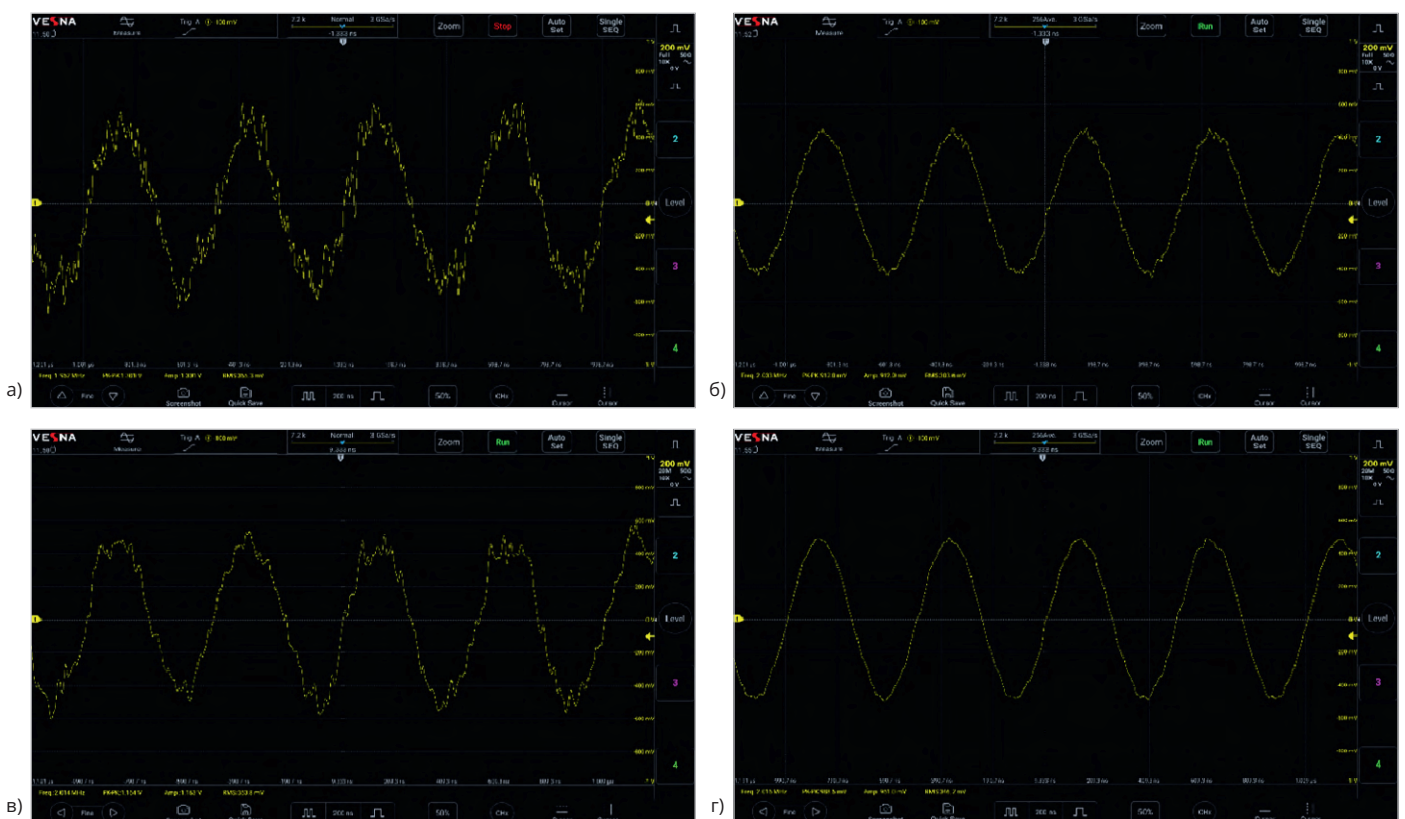


Рис. 10. Результаты измерений при наличии аддитивного шума с $\sigma = 0,15$ В:
 а) без дополнительной обработки; б) при УО; в) при ОПП; г) при УО и ОПП

ния, то для оценки зависимостей δf_{MAX} и δf_{CP} от σ необходимо провести ряд статистических розыгрышей. Также в целях обобщения нижеследующих

результатов следует рассматривать их зависимость от соотношения $r = A/(\sqrt{2}\sigma)$, выраженного в дБ и характеризующего соотношение энергии полезного сиг-

нала и шума. На рис. 4 представлены зависимости $\delta f_{MAX}(r)$ и $\delta f_{CP}(r)$, полученные для 100 статистических розыгрышей и при $\gamma = 20$.

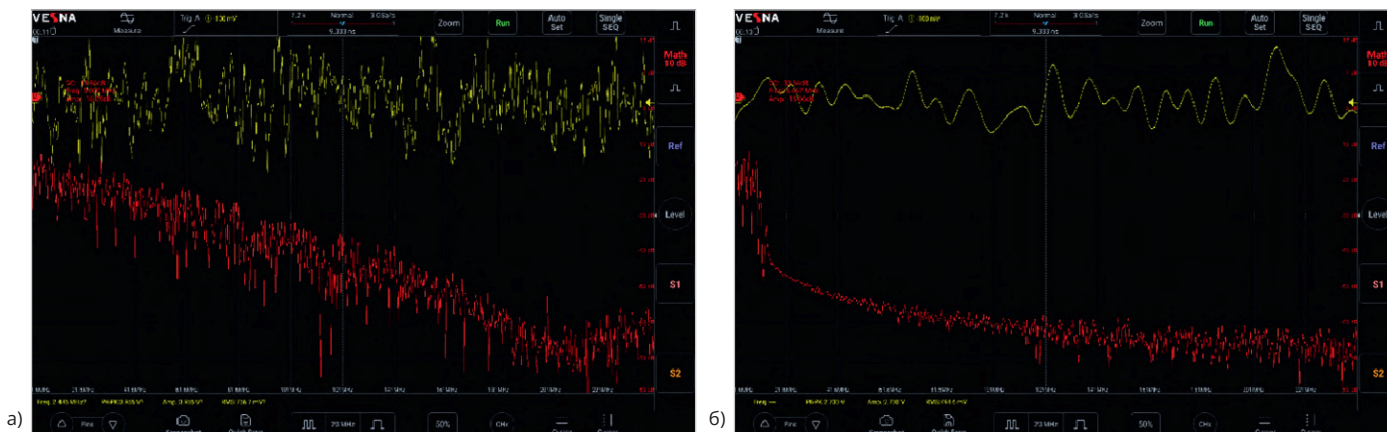


Рис. 11. Результат быстрого преобразования Фурье для гауссовского шума при $\sigma = 1,5 \text{ В}$: а) без использования фильтра; б) при использовании фильтра

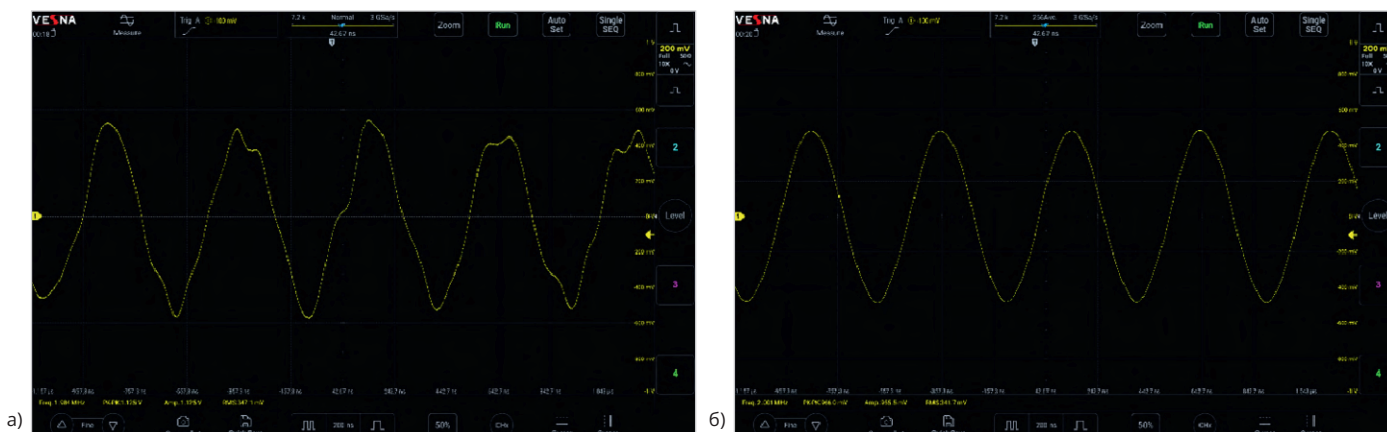


Рис. 12. Результаты измерений при наличии аддитивного шума с $\sigma = 0,5 \text{ В}$ и внешней фильтрации: а) без УО; б) при УО

Как следует из полученных результатов, применение автокорреляционной обработки показывает эффективность при таких отношениях мощности сигнала и шума, когда выявить форму сигнала не представляется возможным. Для больших интервалов корреляции средняя погрешность оценки частоты не будет превосходить 20% для r ниже -30 дБ .

Что касается вейвлет-анализа, то его ожидаемая эффективность оказывается ещё выше, поскольку для него используются опорные функции без всякого шума, с которыми и сопоставляется измеряемый сигнал. При этом допускается использование вейвлетов и в виде целого количества периодов синусоиды [10].

Примеры измерения характеристик сигналов при наличии аддитивного шума

Схемы измерений, оборудование и сигналы. Измерения, результаты которых приводятся ниже, имели своей целью оценку влияния усреднения осциллограмм, ограничения полосы пропускания осциллографа, их сочетания, а также фильтрации на качество измерений

синусоидального сигнала с аддитивным широкополосным гауссовским шумом. Схемы измерений, отличающиеся друг от друга наличием фильтра, представлены на рис. 5 и рис. 6. Для анализа сигналов был выбран осциллограф VESNA OVS-403. Данный образец имел 4 канала, полосу пропускания до 350 МГц, вертикальное разрешение 12 бит и, конечно же, необходимые функции автоматических измерений. Входное сопротивление канала осциллографа равнялось 50 Ом. Этот прибор интересен не только тем, что относится к новой для российского рынка серии осциллографов, но и весьма перспективными техническими характеристиками. Для серии OVS3 предельная полоса рабочих частот составляет до 500 МГц, глубина памяти – до 360 млн отсчётов, максимальная скорость захвата осциллограмм – 230 тыс. шт/с. Также следует отметить продуманность эргономики, включая 14-дюймовый сенсорный экран.

Для формирования ИС использовался генератор сигналов произвольной формы (ГСПФ) Hantek 1025G, в память которого посредством специального про-

граммного обеспечения загружались отсчёты сигнала в количестве 2000 шт., частота и разрядность цифроаналогового преобразования составляли 200 МГц и 12 бит соответственно. В качестве ИС было выбрано синусоидальное напряжение с частотой $f = 2 \text{ МГц}$ и амплитудой $A = 0,5 \text{ В}$ на нагрузке 50 Ом, к нему добавлялся гауссовский шум с выбранным значением среднеквадратичного напряжения σ . Предельная полоса генерации сигналов для такого ГСПФ составляет 100 МГц.

На рис. 7 показана фотография использовавшегося фильтра. Как следует из обозначений на его корпусе, для частот менее 10 МГц и выше 20 МГц вносимое ослабление составляет менее 3 дБ и более 60 дБ соответственно. Согласно результатам предварительных измерений, на частоте 2 МГц фильтр демонстрировал ослабление порядка 0,2 дБ.

Результаты измерений, полученные для синусоидального сигнала с аддитивным шумом. На рис. 8 показана «эталонная» осциллограмма синусоидального сигнала без дополнительного шума. Согласно результатам авто-

матических измерений, его частота $f^* = 2,003$ МГц, размах $U_{p-p}^* = 976$ мВ. Его среднеквадратичное значение составило $U_{RMS}^* = 346$ мВ. На рис. 9 аналогичные результаты показаны при наличии аддитивного шума с $\sigma = 0,05$ В без дополнительной обработки осциллограмм при усреднении осциллограмм (УО) по 256 реализациям, при ограничении полосы пропускания (ОПП) канала осциллографа частотой 20 МГц, а также при их сочетании.

Как следует из анализа осциллограмм на рис. 9, в отсутствие дополнительной обработки значения U_{RMS}^* определяются весьма точно, в то время как частота и размах измеряются с погрешностями 1% и 10,7% соответственно. Усреднение по нескольким осциллограммам даёт лучший результат, чем ОПП, а их сочетание показывает промежуточный результат, но приближённый к УО. УО и его сочетание с ОПП позволяет существенно улучшить качество воспроизведения формы синусоидального сигнала, и при выбранном значении σ искажения на ней почти не видны.

Для случая, когда $\sigma = 0,15$ В, результаты тех же измерений при прочих равных условиях приведены на рис. 10. Из анализа представленных осциллограмм следует, что наиболее точное приближение к искомым параметрам даёт сочетание УО и ОПП. Этот же режим соответствует наилучшему качеству воспроизведения формы синусоидального сигнала. В отсутствие обработки погрешность измерений рассматриваемых параметров достигает десятков процентов, что неприемлемо для практических задач. Результаты автоматических измерений сведены в таблицу.

Результаты измерений, полученные при использовании внешнего фильтра. На рис. 11 представлены результаты быстрого преобразования Фурье, полученные при синтезе на ГСПФ чистого гауссовского шума с $\sigma = 1,5$ В на нагрузке 50 Ом. По изменчивости хода спектральной кривой можно судить о свойствах фильтра. В частности, подтверждается ослабление не менее чем на 50 дБ на частотах выше 20 МГц. Следовательно, фильтр, как это было описано выше, будет заметно снижать энергию аддитивного широкополосного шума. Учитывая спад спектра, отношение мощностей шума на входе и на выходе фильтра можно оценить на уровне 6 дБ. Следовательно, ожидаемое улучшение качества воспроиз-

Таблица. Результаты автоматических измерений

Реализуемый способ	$A = 0,5 \text{ В}, \sigma = 0,05 \text{ В}$			$A = 0,5 \text{ В}, \sigma = 0,15 \text{ В}$		
	$f^*, \text{ МГц}$	$U_{p-p}^*, \text{ мВ}$	$U_{RMS}^*, \text{ мВ}$	$f^*, \text{ МГц}$	$U_{p-p}^*, \text{ мВ}$	$U_{RMS}^*, \text{ мВ}$
–	1,982	1081	344	1,952	1301	365
УО	2,002	973	342	2,033	912	303
ОПП	2,029	1022	343	2,014	1164	353
УО + ОПП	2,004	960	341	2,016	989	346
Эталон	2,003	976	346	2,003	976	346

ведения формы синусоидального сигнала может быть достигнуто при более высоких значениях σ , чем ранее.

На рис. 12 показаны осциллограммы, полученные для случая аддитивного гауссовского шума при $\sigma = A = 0,5$ В (отношение сигнал/шум на входе фильтра равнялось -3 дБ). Сигнал на входе осциллографа уже не имеет заметных шумов, поскольку они существенно сглажены фильтром. Значения ИС f^* и U_{p-p}^* измерены с погрешностями 0,8% и 15,3%. Усреднение осциллограмм позволяет существенно повысить точность этих параметров. Как видно внизу рис. 11б, в этом случае сигнал практически соответствует эталону, искажений формы визуально не наблюдается, при этом $f^* = 2,001$ МГц, $U_{p-p}^* = 966$ мВ, $U_{RMS}^* = 342$ мВ.

Как следует из изложенного, сочетание различных способов снижения влияния шумов на результаты измерений во временной области позволяет добиться получения весьма точных оценок необходимых параметров сигналов даже при отношениях сигнал/шум ниже 0 дБ. Это позволяет с успехом решать лежащие на грани чувствительности измерительных систем и установок измерительные задачи, не прибегая к существенному усложнению методик и схем измерений.

Заключение

Таким образом, арсенал методов, позволяющих анализировать зашумлённые сигналы с измерением их параметров во временной области, оказывается весьма широким, причём наиболее простые из них вовсе не требуют ни математической обработки вспомогательными программными средствами, ни использования дополнительного оборудования. Комбинирование таких методов позволяет повысить их совокупную эффективность, которая тем не менее имеет принципиальные ограничения, связанные с неизбежным снижением точности при снижении отношения сигнал/шум.

Важнейшим моментом является качество реализации обработки измеряемых сигналов непосредственно в осциллографе, которая в рассматриваемых условиях только возрастает. В этом отношении осциллографы VESNA серии OVS3 заслуживают пристального внимания и доверия со стороны конечных потребителей.

Литература

1. Кечиев Л.Н. Печатные платы и узлы гигабитной электроники. М.: Грифон, 2017. 424 с.
2. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции / пер. с англ. В.С. Кармашева, Л.Н. Кечиева. М.: Издательский дом «Технологии», 2003. 540 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
4. Раушер К., Йанессен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа / пер. с англ. С.М. Смольского под ред. Ю.А. Горбенко. 4-е изд. М.: Навигатор, 2021. 226 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд / пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
6. Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 478 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974. 832 с.
8. Белинский В.Т., Васюк Г.И., Внутенцмеры В.С. и др. Радиотехника: Энциклопедия / под ред. Ю.Л. Мазора. М.: ДМК Пресс, 2016. 944 с.
9. Лемешко Н.В., Струнин П.А. Анализ зашумлённых эфирных сигналов с использованием осциллографов R&S RTO // Компоненты и технологии. 2017. № 10 (195). С. 144–150.
10. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2003. 462 с.



Космическая версия зарождения жизни.

Часть 1. Новая интерпретация феномена атмосферных плазменных образований, зафиксированных во время полёта шаттла «Columbia» в 1996 году

Виктор Алексеев

В феврале 2026 года исполняется 30 лет со дня космического полёта STS-75, выполненного в 1996 году на корабле «Columbia» в рамках американской программы космических шаттлов Space Transportation System. В рамках этого космического полёта были проведены уникальные эксперименты по изучению электродинамики металлического троса длиной около 20 км в ионосфере Земли. Эти работы позволили решить ряд проблем, связанных с естественными и искусственными источниками помех для систем спутниковой связи. В последнее время набирает всё бóльшую популярность видеоролик Джея Андерсона, в котором он разбирает статью хорошо известного уфолога – астроботаника Роуна Джозефа, недавно опубликованную в журнале *Journal of Modern Physics* (2024). Авторы этой статьи предлагают интерпретировать атмосферные плазменные образования, зафиксированные на видеозаписи, полученной во время полета STS-75, как самоорганизующиеся субстанции, которые миллиарды лет назад могли инициировать зарождение биологической жизни на Земле. В задачу нашей статьи не входила оценка достоверности выводов, приведённых в новой статье. Во-первых, пользуясь 30-летним юбилеем полёта, хотелось бы напомнить о действительно уникальном эксперименте, проведённом в полёте STS-75. Во-вторых, ниже показано, что из себя представляют и как были получены «новые доказательства внеземного зарождения жизни», предложенные Джозефом.

Итало-американский космический эксперимент со спутником на тросе длиной 20 км

Уникальный космический эксперимент TSS-1R (Tethered Satellite System-1 Reflight) был проведён 25 февраля 1996 года на высоте около 296 км над поверхностью Земли во время полёта STS-75 космического корабля «Columbia».

В процессе эксперимента из транспортного отсека космического корабля-шаттла, находившегося на высоте около 296 км над поверхностью Земли, разворачивался проводящий трос общей длиной 20,7 км, соединённый с небольшим спутником-зондом на конце и предназначенный для передачи телеметрической информации [1].

Система TSS-1R была разработана для изучения параметров наведённой ЭДС, возникающей в длинном проводнике при его движении в ионосфере Земли. Кроме того, TSS предполагалось использовать для исследования

физических процессов в околоземном космическом пространстве, таких как плазменные волны и токи.

Спутник был предоставлен Италией, а узел системы развёртывания троса был изготовлен в США. В проекте использовался специально изготовленный трос, конструкция которого состояла из несущего волокна (Kevlar/Nomex) и десяти жил медного провода 34 AWG диаметром 0,16 мм. Всё это было покрыто тефлоновой изоляцией. Общий диаметр провода был всего 2,54 мм.

Первая попытка по развёртыванию привязанного на тросе спутника была выполнена на борту шаттла «Атлантик» в 1992 году во время полёта космической транспортной системы STS-46. Из-за механических неполадок в механизме намотки спутник был развёрнут только на 256 м вместо запланированных 20 км. В конструкции развёртывающего устройства и спутника были внесены несколько изменений, и вторая попытка была предпринята в полёте STS-75.

Для дальнейшего понимания трактовки видеоархивов крайне важно подчеркнуть, что на космическом корабле (КК) Columbia было три типа видеокамер. Для дистанционного зондирования Земли из космоса использовались установленные в кабине КК видеокамеры с высоким пространственным разрешением и качеством цветопередачи HDTV [3]. Эти камеры включались в ручном режиме в ходе выполнения специальных запланированных по графику экспериментов. Именно с помощью такой камеры были получены снимки, приведённые на рис. 1, 2, 3. Кроме того, использовалось несколько камер системы NTSC (National Television Systems Committee), работающих в непрерывном режиме. В грузовом отсеке и в критически важных местах КК были установлены аварийные камеры LLTV (Low-Light), предназначенные для наблюдения в условиях недостаточной освещённости.

В документации STS-75 такие монохромные камеры часто фигурируют как CCTV для визуального контроля грузовых операций и состояния систем. Камеры управлялись вручную из кабины корабля, что давало возможность менять ракурс, разрешение и усиление.

Одна из чёрно-белых камер LLTV, работавшая в непрерывном режиме, использовалась для видеонаблюдения за тёмной стороной Земли в экспериментах по отслеживанию вспышек. Она была настроена на бесконечность с полностью открытой диафрагмой.

После успешных предстартовых испытаний на Земле и тщательных проверок в космосе было начато очень медленное развёртывание троса, показанное на рис. 2 [4].

На третий день полета, когда трос развернулся почти на полную длину, был включён режим торможения процесса раскрутки троса. Неожиданно трос оборвался, когда спутник находился на расстоянии около 19,6 км от шатт-

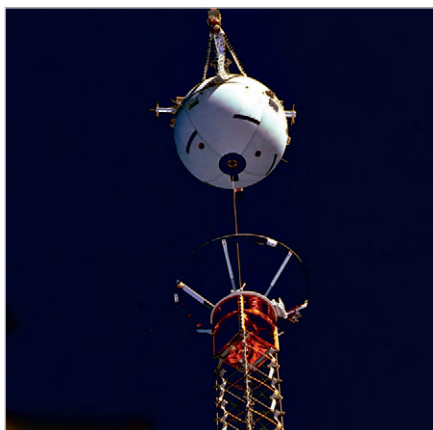


Рис. 1. Фотография телеметрического спутника, прикрепленного к тросу на выносной штанге во время эксперимента TSS-1R [2]

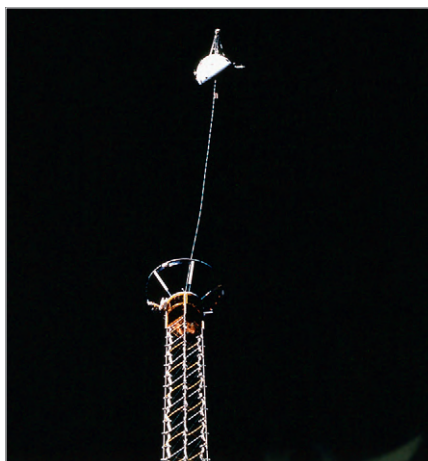


Рис. 2. Процесс развёртывания троса с привязанным спутником во время эксперимента TSS-1R



Рис. 3. Аварийный момент обрыва троса с прикрепленным спутником в эксперименте TSS-1R

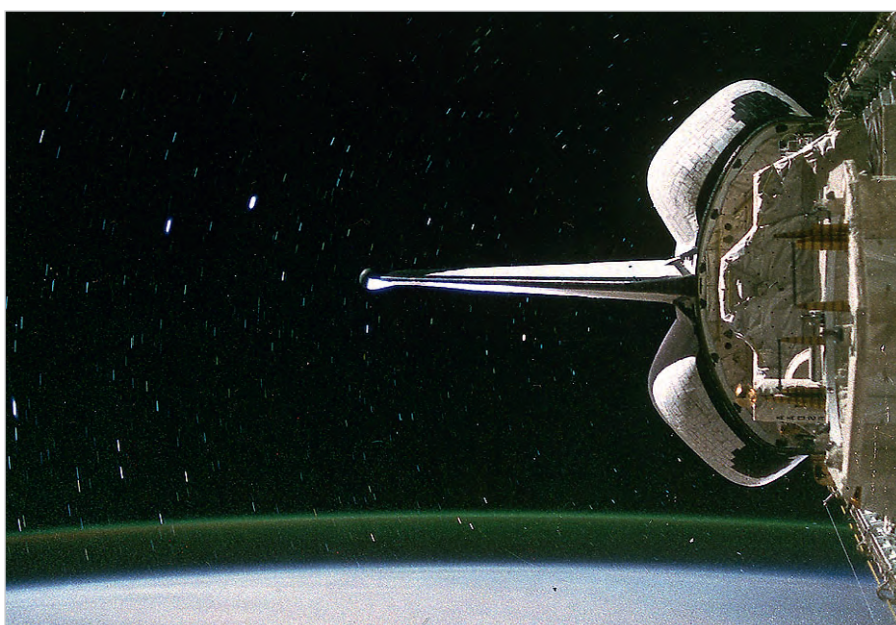


Рис. 4. Вертикальный стабилизатор (STS-75) указывает на четыре звезды созвездия Южного Креста

ла. Спутник с тросом медленно начал удаляться от шаттла под действием орбитальных сил. Аварийный момент обрыва троса с прикрепленным спутником, заснятый другой внешней камерой STS-75, запечатлён на рис. 3 [5].

Этот снимок сделан с помощью камеры NTSC с «плохим» разрешением, работавшей в непрерывном режиме. Ничто не предвещало аварию, и всё произошло так неожиданно, что астронавты просто не успели включить камеры высокого разрешения. Спутник начал отдаляться от орбитального аппарата с прикрепленным тросом и был переведён в безопасный режим с ограниченным энергопотреблением. Со спутником периодически поддерживалась связь во время пролётов над наземными станциями. Науч-

ные исследования в грузовом отсеке продолжались в течение времени, отведённого для операций TSS-1R.

Основной причиной обрыва троса, как позже выяснилось после возвращения КК на Землю, стало возникновение дугового разряда и последующее выгорание троса. Несмотря на аварию, были собраны ценные научные данные. Токи, измеренные во время фазы развёртывания, были как минимум в три раза выше, чем предсказывалось теоретическими расчётами. На тросе было достигнуто напряжение до 3500 вольт. При этом ток достигал уровня около 480 миллиампер. Эти результаты оказались почти в три раза больше, чем ожидалось, что позволило существенно скорректировать модель наведения ЭДС при движении в магнитном поле

ионосферы Земли. Эти данные могут быть крайне полезными при проектировании космической техники следующих поколений. В частности, могут оказаться реальностью кажущиеся сейчас фантастическими энергетические установки, работающие без топлива.

На рис. 4 приведена ещё одна фотография, полученная с помощью камеры высокого разрешения незадолго до восхода солнца. Дословная подпись под этим снимком, приведённая на сайте NASA («...vertical stabilizer (STS-75) appears to point to the four stars of the Southern Cross [6]. The scene was captured just prior to a sunrise»), говорит о том, что «вертикальный стабилизатор (STS-75) указывает на четыре звезды созвездия Южного Креста». Этот снимок может быть использован в качестве «чистого фона» с чёткой ориентацией в пространстве и времени при обсуждении альтернативных интерпретаций данных, которые трактуют четыре объекта в левой части сильно увеличенной копии изображения как НЛО.

Новая статья Роуна Джозефа с результатами обработки видеозаписей, полученных во время полета STS-75

В 2024 году в журнале (J. Mod. Phys. v. 15, n. 3) была опубликована статья с броским названием «Внеземная жизнь в термосфере: плазма, неопознанные атмосферные явления, протожизнь (Pre-Life), четвёртое состояние вещества» [7].

Благодаря названию, шокирующему абстракту и рекламе в Интернете эта работа привлекла большое внимание. На сегодняшний день её просмотрели около 200 тысяч человек.

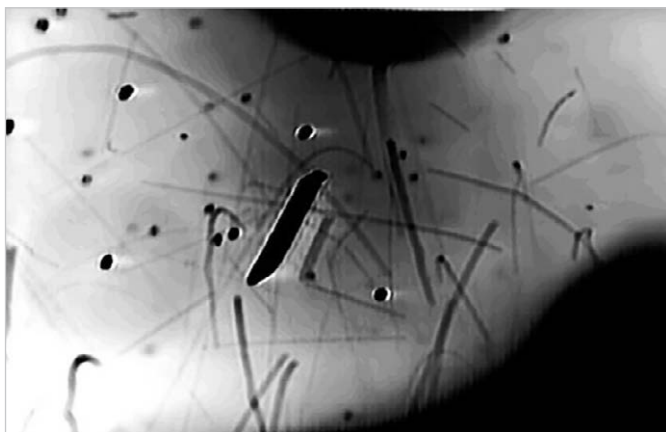


Рис. 5. Результаты компьютерного анализа траекторий полёта и скоростей, основанные на видеозаписи со спутника STS-75

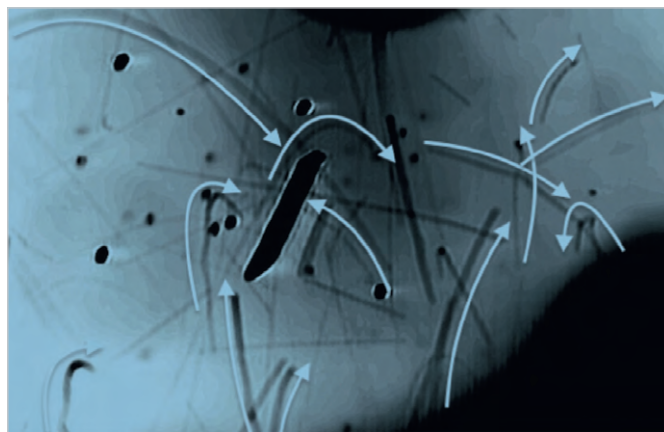


Рис. 6. Вычисленные значения траекторий полёта и скоростей, основанные на анализе видеозаписей со спутника STS-75

В качестве преамбулы целесообразно представить создателей этой статьи. Статья написана авторским коллективом в составе 11 учёных из США, Канады, Франции, Италии, Ирландии, Марокко, Палестины.

Лидером этого коллектива является Роун Джозеф (Rhawn Gabriel Joseph) – по образованию и ранней профессиональной деятельности нейробиолог и нейропсихиатр. Имеет степень PhD, автор фундаментального учебника по нейронаукам, который выдержал два издания в таких престижных издательствах, как Williams & Wilkins (1996) и CRC Press (2000) [8].

Неожиданно для всех Джозеф прервал свою карьеру в медицине в начале 2000-х и увлёкся вопросами астробиологии. Он организовал собственные медиаплощадки «Journal of Cosmology», «Cosmology.com», «BrainMind.com», а также блог на YouTube «Sarastarlight» [9], в которых стал публиковать статьи на тему галактических корней земной жизни, разумных грибковых образований на Марсе, зачатков жизни на Венере и т.д. [10].

Несмотря на многочисленные критические отзывы, например [11], Джозеф не только не бросил свою подвижническую деятельность в качестве «астробиолога», но пошёл дальше. Он собрал вокруг себя группу единомышленников и стал активно пропагандировать свои идеи, начиная с 2000 года, когда была опубликована его первая книга «Astrobiology, the Origin of Life, and the Death of Darwinism» (Астробиология, начало жизни и смерть дарвинизма). Ключевой тезис – «Жизнь на Земле не могла возникнуть в «органическом супе», а прибыла из космоса».

Не очень понятно, почему такой крупный специалист, как Джозеф, указывает в качестве аффилиации «Astrobiology Research Center, California, USA». Эта организация не фигурирует в списках официальных астробиологических центров NASA или университетов Калифорнии; не имеет институционального веб-сайта с указанием адреса, структуры или источников финансирования; не является подразделением NASA Astrobiology Institute. Упоминания «Astrobiology Research Center» встречаются исключительно в публикациях самого Джозефа и на его личных сайтах Cosmology.com и BrainMind.com, что позволяет предположить, что это частная инициатива автора, а не официальное научно-исследовательское учреждение.

Среди десяти соавторов новой публикации Роуна Джозефа есть учёные с академическими должностями, имена которых известны по их статьям в крупных научных изданиях:

- Крис Импи (Chris Impey) – крупный американский автор более 210 рецензируемых публикаций по наблюдательной космологии с финансированием исследований на \$20 млн от NASA и NSF, обладатель 11 преподавательских наград и Fellow AAAS (2009), один из самых цитируемых астрономов, бывший вице-президент «American Astronomical Society», автор университетских учебников и научно-популярных книг;
- Рудольф Шильд (Rudolph Schild) – известный американский учёный, специалист по гравитационному линзированию квазаров, «Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics» (одно из самых престижных астрофизических учреждений в мире);

- Оливье Планшон (Olivier Planchon) – ведущий эксперт (Researcher) CNRS в лаборатории Biogéosciences Бургундского университета, специалист по климатологии и атмосферной циркуляции, автор работ по влиянию климата на виноградники Бургундии, в последние годы автор публикаций о внеземной археологии и поисках свидетельств внеземной жизни в Антарктике (2024);

- Розанна дель Гаудио (Rosanna del Gaudio) – адъюнкт-профессор молекулярной биологии в Университете Неаполя имени Федерико II, специалист по молекулярной биологии беспозвоночных, в последнее время публикует статьи о «жизни на Марсе» и «плазме как четвёртом домене жизни»;

- Дэвид Дювалл (David Duvall) – профессор зоологии, специалист по рептилиям и амфибиям, «Oklahoma State University», сторонник теории о внеземных корнях зарождения жизни на Земле.

Другая группа соавторов принадлежит к категории учёных, «не имеющих стандартных научных степеней», поддерживающих направление неопознанных атмосферных явлений (Unidentified Aerial Phenomena – UAP), среди которых: Имонн Энсбро (Eamonn Ansbro) – уфология, Джорджо Бьянчарди (Giorgio Bianciardi) – жизнь на Марсе, Карл Гибсон (Carl Gibson) – космологическая турбулентность.

Про двух оставшихся авторов не удалось найти никакой доступной информации в Интернете: Аравинда Суманарадна (Aravinda Sumanarathna, Eco Astronomy International Research Center, Morocco) и Махмуд Абу Сафа (Mahmoud Abu Safa, Palestine Polytechnic University, Hebron).

Второй момент, который обращает на себя внимание, – это выбор журнала для публикации. Статья напечатана в журнале «Journal of Modern Physics (ISSN Online: 2153–120X, ISSN Print: 2153–1196)», который имеет крайне низкий индекс цитируемости, что очень необычно для англоязычного научного журнала [12].

Этот журнал издаётся компанией Scientific Research Publishing (SCIRP). SCIRP/Journal of Modern Physics не индексируется в WoS/Scopus. Издательство имеет далеко не лучшие отзывы, связанные с отсутствием научно-технической экспертизы статей [13]. Однако и журнал, и издательство – это традиционная база для публикаций статей Джозефа.

Данная статья не является «неожиданным» открытием. Она продолжает цикл публикаций и видеоблогов, которые Роун Джозеф размещает на своих сайтах на протяжении уже более 15 лет. Основное содержание этих публикаций варьируется на тему различных способов переноса органических «молекул-репликантов» из космоса на Землю и процессов зарождения первичных форм биологической жизни (Pre-Life).

Новая статья (Jour Mod Phys, 2024, v. 15) на 52 страницах текста содержит 24 раздела, 29 рисунков и 66 ссылок на литературу. Крайне странно, что в статье не указано, какой именно вклад внёс каждый из 11 соавторов. Вся статья написана от лица этих «коллективных 11 соавторов». Повествование ведётся в стиле: «считается, что ...», «как известно ...», «принято считать, что ...».

Из приведённых имён 11 авторов ссылки на их статьи есть только в трёх случаях. Восемь сквозных ссылок, проходящих через все разделы, приходятся на работы самого Роуна Джозефа, опубликованные либо на его собственных вышеупомянутых сайтах, либо в популистских блогах на YouTube. Две ссылки приведены на работы бывшего астрофизика, специалиста по квазарам Рудольфа Шильда, в которых он совместно с Роуном Джозефом обсуждает такие проблемы, как возможность существования внеземной жизни в термосфере (2023 г.) и перемещение источников протожизни между планетами (2010 г.) и т.д.

В статье имеется также единственная ссылка на работу другого автора – специалиста по рептилиям – профессо-

ра зоологии Дэвида Дюваля, в которой обсуждается известный доклад «Офиса директора национальной разведки» (ODNI) об угрозе, исходящей от неопознанных воздушных явлений (UAP). В центре внимания отчёта были более 120 случаев крайне необычных воздушных явлений, свидетелем которых стали пилоты ВМС и иностранные военные за последние два десятилетия.

Больше никакие из приведённых в заголовке имён авторов в статье не упоминаются, и их роль в ключевых выводах остаётся неопределённой.

Как отмечается в аннотации к этой коллективной статье (J. Mod. Phys. 2024), авторы анализируют «светящиеся плазменные образования», заснятые в термосфере на высотах около 300 км над поверхностью Земли в ходе десяти отдельных миссий космических шаттлов: STS-48, STS-75, STS-80, STS-96, STS-101, STS-106, STS-115, STS-119, STS-123.

Основной упор в этой работе Роун Джозеф с соавторами (2024) делают на особом «инновационном» подходе к анализу видеозаписи атмосферных плазменных образований (АПО), полученных 30 лет назад, в основном во время рассмотренного выше полета космического корабля STS-75 Columbia (февраль, 1996 год).

Однако необходимо подчеркнуть, что вопрос о том, как и с помощью каких камер были сняты эти видеоматериалы, Джозеф не комментирует.

Два устойчивых фрагмента видеозаписи STS-75 длительностью 20 и 53 с были подвергнуты компьютерному анализу с использованием программного обеспечения RegiStax, чувствительного к быстро движущимся объектам.

Отличительной особенностью данной процедуры было то, что отслеживалось перемещение ряда индивидуальных объектов, зафиксированных видеокамерой.

Ниже приводится буквальный перевод представленного в статье текста, описывающего наиболее значимый вывод этой статьи.

Были построены траектории движения, скорости и углы поворота отдельных плазменных образований. Покадровый анализ (Motion Tracking) поведения каждого индивидуального объекта на записях STS-75 дал возможность реконструировать детали изменения направления движения единичных объектов.

Было проведено отслеживание плазменных образований, и были построены траектории полета и параметры движения для отдельных объектов в рамках всей группы плазменных образований по мере их приближения и удаления от электрифицированного троса (рис. 5).

На рис. 6 (рис. 10a в статье Джозефа) показаны вычисленные значения траекторий полета и скоростей, основанные на анализе 20-секундной стабильной последовательности видеозаписей со спутника STS-75. На рис. 6 (рис. 10b в статье Джозефа) показаны результаты компьютерного анализа траекторий полета и скоростей, основанного на 20-секундной стабильной последовательности видеозаписей со спутника STS-75. Многие объекты демонстрируют изменение траектории на 45, 90 и 180 градусов, изменяют свою скорость, останавливаются, зависают, ускоряются, совершают внезапные или медленные повороты вокруг электрифицированного троса. Длина траектории полета, определённая с помощью RegiStax, прямо пропорциональна скорости объекта. Чем быстрее движется структура, зафиксированная на видеозаписи STS-75, тем длиннее линия, обозначающая её траекторию (рис. 5 и 6). Отдельные плазменные образования движутся с существенно разными скоростями, направлениями и траекториями, некоторые совершают повороты и изменения направления от 45 до 180 градусов, что указывается кривизной и длиной построенной траектории полета, которая также является мерой скорости.

Утверждается, что приведено несомненное доказательство уникальных кинетических свойств загадочных объектов, которые невозможно описать с точки зрения современной науки. К сожалению, крайне сложно для простого человека понять сам процесс доказательств и их научную ценность. Очевидно, здесь нужен именно такой разносторонний авторский коллектив, который указан в статье. Поэтому этот вопрос остается открытым. Но сами рис. 5 и 6 мы прокомментируем в следующей части статьи.

Некоторые объекты демонстрировали поведение, которое исследователи описали как «охотничье-хищническое» (Hunter-Predatory Behavior) (рис. 7, рис. 9 у Джозефа). Они ускорялись, пересекали другие плазменные образования, оставляя за собой шлейф

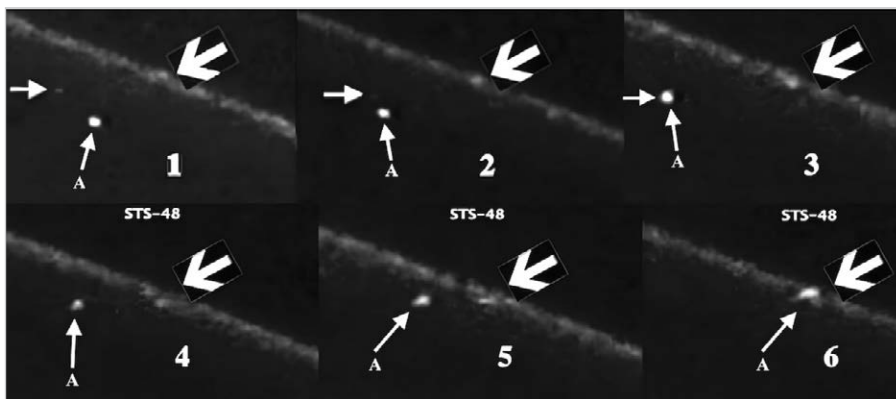


Рис. 7. Некоторые объекты демонстрировали поведение, которое исследователи описали как «охотничье-хищническое поведение» (Hunter-Predatory Behavior)

плазменной пыли длиной в несколько километров. Конусообразная плазма на рис. 7 вдоль края и направление движения обозначены белой стрелкой. Центральная плазма движется по прямой линии, затем поворачивает под углом 45 градусов, быстро ускоряется и перехватывает сначала одну, затем вторую плазму вдоль края. Эти наблюдения порождают гипотезу о том, что плазма «питается» электромагнитным излучением, что напоминает поведение простейших одноклеточных существ.

Джозеф приводит пример «притяжения» этих плазменных образований к источнику электромагнитного поля. На рис. 8 (рис. 9 у Джозефа) показано, как в течение нескольких часов после обрыва троса сотни светящихся объектов собирались к электрифицированному тросу, окружали его и продолжали движение вместе с ним.

В статье описываются различные наблюдавшиеся морфологии этих плазменных образований, которые включают четыре основные наблюдаемые формы. Первая наблюдаемая форма была конусом, вторая облаком, третья цилиндром, а четвёртая напоминала бублик.

На рис. 9 (рис. 8 – Джозеф) показан снимок светящейся пульсирующей плазмы тороидальной формы с ядром, движущимся вперед, полученный во время миссии STS-119.

В заключительных разделах статьи описаны свидетельства встреч пилотов времён Второй мировой войны со «светящимися шарами», а также наблюдения аналогичных объектов пилотами реактивных истребителей США в 1950–2000-е годы. Интересно, что пилоты разных стран регулярно фиксировали световые шары, приближавшиеся к их самолётам. Явление было настолько распространённым, что американ-

ские летчики считали его возможной формой нового немецкого супероружия. После окончания войны в архивах Люфтваффе были обнаружены отчёты немецких летчиков, в которых подробно описывались наблюдения этих таинственных светящихся шаров.

Подводя итог непростой работы по объяснению 29 совершенно непонятных непосвящённому загадочных рисунков, 11 уважаемых авторов делают неожиданный вывод о том, что из изложенного на 52 страницах текста следует, что жизнь на Земле могла зародиться 4 миллиарда лет назад при участии открытых ими плазменных термосферных образований. Сама идея внеземного происхождения жизни не является оригинальной и имеет множество вариаций среди серьёзных ученых. Подробнее об интерпретации описанных результатов Джозефа и его соавторов авторитетными экспертами будет рассказано в следующей части статьи.

Литература

1. NASA, TSS-1R. URL: <https://www.nasa.gov/image-detail/amf-9612176/>.
2. NASA NSSDC, STS-75, TSS-R1. URL: <https://www.nasa.gov/mission/sts-75/>.
3. High-Definition Television (HDTV) Images for Earth Observations and Earth Science Applications. URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20000091592>.
4. URL: <https://archive.org/details/MSFC-9612176>.
5. STS-75 Mission Highlight Resource Tape. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=TaSBMecjp6M>.
6. Vertical stabilizer (STS-75). URL: <https://www.nasa.gov/image-detail/amf-9802891/>.
7. Joseph R., Impey C., Planchon O., del Gaudio R., Abu Safa M., Sumanarathna A.R., Ansbro E., Duvall D., Bianciardi G.,

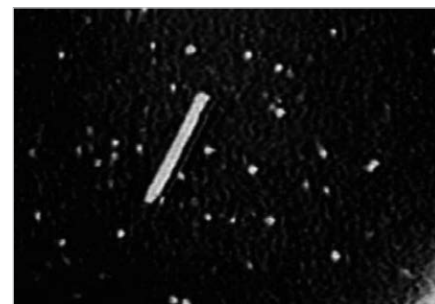


Рис. 8. Сотни светящихся объектов собирались к тросу со спутником, окружали его и продолжали движение вместе с ним



Рис. 9. Снимок светящейся пульсирующей плазмы тороидальной формы с ядром, движущимся вперед, полученный во время полёта STS-119

Gibson C.H., Schild R. Extraterrestrial Life in the Thermosphere: Plasmas, UAP, Pre-Life, Fourth State of Matter. Journal of Modern Physics, 2024, Vol. 15, No. 3, pp. 322–374.

URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=131506>.

8. Joseph R. Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Clinical Neuroscience, CRC Press (2000). URL: <https://www.routledge.com/Neuropsychiatry-Neuropsychology-and-Clinical-Neuroscience/Joseph/p/book/9780849300571>.
9. Alien Life in Space: Biological UFOs, Extraterrestrial Extremophile. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Yb67zM1Sh-Q>.
10. Journal of Cosmology. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Journal_of_Cosmology.
11. Zimmer C. Is NASA Hiding Alien Life? Discover Magazine, 2014. URL: <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/is-nasa-hiding-alien-life>.
12. Norwegian Scientific Index. Scientific Research Publishing. URL: <https://kanalregister.hkdir.no/publiseringsskanaler/KanalForlagInfo.action?id=22903>.



Программный калькулятор для быстрых и точных вычислений

Олег Вальпа

Приведено описание составленного автором статьи программного калькулятора, ускоряющего различные математические вычисления и обеспечивающего безошибочность выполнения этих операций.



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

Введение

Современный мир можно назвать миром цифр и вычислений. Ведь без расчётов в настоящее время не может обойтись ни одна область деятельности человека. Время, которое затрачивается на различные расчёты, весьма велико, а машинные ошибки, допускаемые в расчётах, могут дорого стоить. Как же сократить затраты на все эти вычисления и избавиться от досадных просчётов?

Предлагаю вниманию читателей один из простейших способов для облегчения различных математических расчётов и достижения их безошибочности на примере вычисления параметров для электрических цепей.

Программный калькулятор

Большинству людей, изучавших электротехнику, известен знаменитый закон Ома, который описывает линейную зависимость между напряжением, силой тока и сопротивлением участка электрической цепи. Этот закон был установлен Георгом Омом в 1826 году и назван в его честь.

Закон Ома для участка цепи выражается простой формулой: $I = U/R$, где I – сила тока в амперах, U – электрическое напряжение в вольтах, R – электрическое сопротивление участка цепи в омах. Эта формула очень часто используется при расчёте параметров элементов для электрических цепей.

Но для полноты расчётов кроме этой формулы применяется формула расчёта электрической мощности, выделяемой на сопротивлении при прохождении через него электрического тока. Эта формула для постоянного тока также имеет линейный характер и выражается записью: $P = U \cdot I$, где P – электрическая мощность в ваттах, U – электрическое напряжение в вольтах, а I – сила тока в амперах.

Если подставить в одну из формул параметры, полученные из другой

формулы, образуется набор дополнительных формул, позволяющих выполнять расчёты неизвестных параметров с помощью известных.

Например, можно вычислить мощность, выделяемую на сопротивлении 20 Ом с приложенным к нему напряжением 10 В, не зная тока, проходящего через это сопротивление. Для этого в формулу $P = U \cdot I = 10 \cdot I$ вместо неизвестного тока I подставляется запись $I = U/R$ из первой формулы. В результате получается новая формула для вычисления электрической мощности: $P = U \cdot U/R$, с помощью которой мощность вычисляется выражением: $P = 10 \cdot 10/20 = 5$ Вт без неизвестного значения тока I .

Аналогично можно получить множество других полезных формул. Все эти формулы представлены в компактном графическом виде на рис. 1.

Несмотря на простоту этих формул, их использование отнимает немало драгоценного времени при выполнении расчётов и может приводить к машинным ошибкам. Чтобы облегчить и ускорить процедуру таких расчётов, можно воспользоваться специально составленным мною для этих целей файлом калькулятора в формате Excel. Внешний вид экрана этого калькулятора приведён на рис. 2.

Пользоваться таким калькулятором очень просто. Для вычисления любого из параметров (напряжения, тока, сопротивления или мощности) необходимо в соответствующей строке ввести известные значения вспомогательных параметров в ячейках с синими цифрами. В результате сформируется ответ в ячейке с красным цветом цифр.

Например, для вычисления напряжения по известным значениям тока и сопротивления известные значения вводятся вместо синих цифр, и результат автоматически появится в ячейке этой строки с красной цифрой напряжения.



Рис. 1. Компактный вид формул

	A	B	C	D	E
1	Напряжение	Формула			
2	U		I	R	P
3	10	$U=I \cdot R$	1	10	
4	10	$U=P/I$	1		10
5	10	$U=\text{КОРЕНЬ}(R \cdot P)$		10	10
6	Ток				
7	I		U	R	P
8	1	$I=U/R$	10	10	
9	1	$I=P/U$			10
10	1	$I=\text{КОРЕНЬ}(P/R)$		10	10
11	Сопротивление				
12	R		U	I	P
13	10	$R=U/I$	10	1	
14	10	$R=(U \cdot U)/P$	10		10
15	10	$R=P/(I \cdot I)$		1	10
16	Мощность				
17	P		U	I	R
18	10	$P=U \cdot I$	10	1	
19	10	$P=(U \cdot U)/R$	10		10
20	10	$P=I \cdot I \cdot R$		1	10

Рис. 2. Внешний вид экрана калькулятора

Аналогично можно произвести расчёт любого другого параметра. При этом экономится много времени и исключаются машинные ошибки в расчётах.

Заключение

Подобный калькулятор несложно составить для любых других вычислений. Таким образом можно сформировать удобный электронный калькулятор для быстрых вычислений.

Программный калькулятор можно скачать с сайта журнала.



Тестовая программа для проверки контроллеров

Олег Вальпа

Представлена тестовая программа, разработанная автором статьи, позволяющая проверять исправность программируемых логических контроллеров и помогающая при их ремонте.



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

Введение

Довольно часто появляется необходимость проверки программируемого логического контроллера (ПЛК), когда возникает сомнение в его исправности. Обычно рабочий проект не содержит в себе функции диагностики контроллера, и для его проверки необходима специальная тестовая программа.

Иногда производитель поставляет контроллеры с такой тестовой программой, позволяющей убедиться в исправности своей продукции. Например, многие контроллеры компании Segnetics [1] поставляются с тестовой заводской программой, внешний вид экрана которой представлен на рис. 1.

На этом экране можно увидеть состояние цифровых входов DIN1...8, аналоговых входов AIN1...8, значения часов, минут и секунд, а также неко-

торых системных параметров. Проблема заключается в том, что данную заводскую тестовую программу невозможно сохранить для последующего использования, поскольку она стирается при записи новой программы. Лишь некоторые модели ПЛК позволяют перенести внутреннюю программу на дополнительный носитель памяти.

Для того чтобы при необходимости воспользоваться такой тестовой программой, нужен её исходный код, который не предоставляется производителем. Решение данной проблемы возможно путём разработки собственной тестовой программы, которая предлагается к рассмотрению.

Тестовая программа

Рассматриваемая здесь тестовая программа разработана для ПЛК Pixel 2

компании Segnetics. Данную программу можно легко преобразовать для проверки других контроллеров упомянутой компании, таких как Matrix, SMH4 и т.п. Это делается путём изменения типа модели ПЛК в проекте с последующей трансляцией и записью в контроллер.

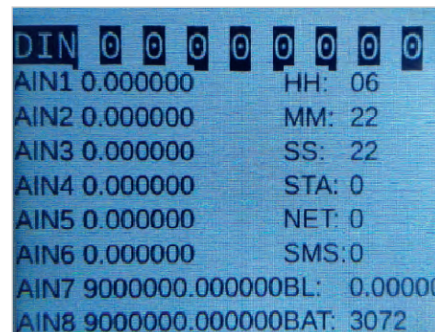


Рис. 1. Экран тестовой программы ПЛК



Рис. 2. Интерфейс программы

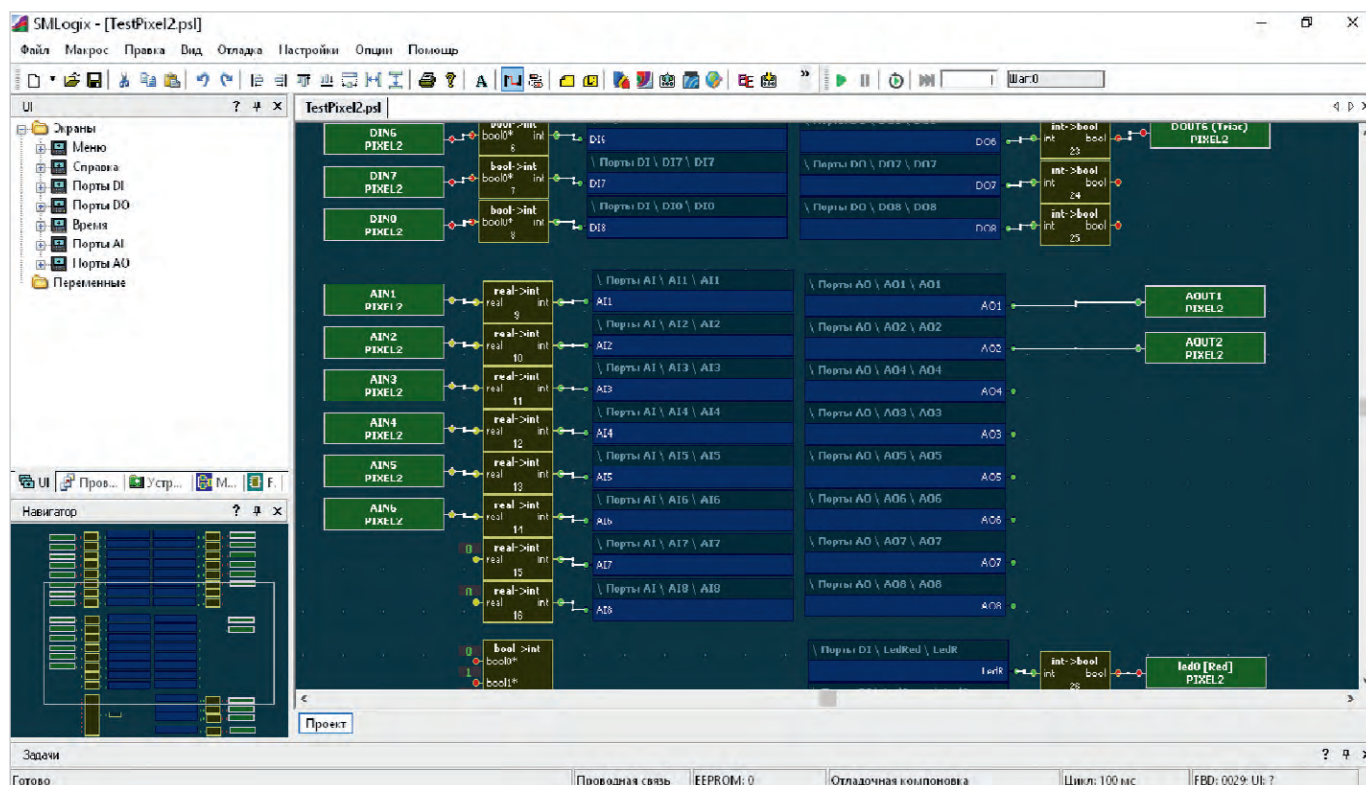


Рис. 3. Рабочее поле программы

Программа создана в свободно расширяемой среде разработки SMLogix [2] на языке программирования диаграмм функциональных блоков FBD (Function Block Diagram). Знакомство с этой средой, её установкой на компьютер и созданием проектов в ней изложено в источнике [3].

Предлагаемая тестовая программа позволяет проверить исправность дисплея контроллера, его клавиатуру, часы и календарь, световые и звуковые индикаторы и все порты ввода и вывода.

Интерфейс оператора разработан с помощью встроенного в среду разработки программного инструмента SMART и представлен на рис. 2.

Он состоит из нескольких элементов меню с пиктограммами и названиями, поясняющими назначение этих элементов.

В меню «Справка» приводится краткое описание программы. Меню «Время» позволяет настроить часы и календарь и проверить их работу. Остальные разделы меню: «Порт DI», «Порт DO», «Порт AI» и «Порт AO» предназначены для проверки соответствующих портов. В разделе меню «Порт DI», кроме того, можно проверить все программно доступные индикаторы. При разработке данной программы были использованы простейшие библиотечные элементы для преоб-

ращения сигналов и порты ввода-вывода с индикаторами.

Вся программа на поле рабочего пространства представлена на рис. 3.

Здесь видно, как организованы связи между портами и элементами интерфейса с использованием преобразователей типа. При работе программы сигналы, формируемые на входных портах контроллера, будут отображаться с помощью элементов интерфейса на экране ПЛК. А значения, вводимые оператором для редактируемых элементов интерфейса, будут транслироваться в сигналы выходных портов контроллера и индикации. Таким образом можно легко проверить все порты и индикаторы ПЛК. Данный метод позволяет произвести и поиск неисправностей контроллера, если они существуют, с помощью дополнительной контрольно-измерительной аппаратуры.

Для проверки последовательных портов ПЛК в тестовую программу добавлен один элемент вывода, на входе которого формируется проверочный код: 10101010, соответствующий значению 0xAA в шестнадцатеричном коде и 170 в десятичном. Этот код доступен для чтения через любой из последовательных портов, как регистр Input Reg по адресу 0. Проверка последовательных портов производится чтением дан-

ного регистра и сравнением полученного кода с программным кодом 10101010. Для чтения можно использовать широко распространённую программу Modbus Pool или подобную ей. По результатам сравнения можно сделать вывод об исправности порта.

Загрузить проект приведённой тестовой программы для нескольких моделей ПЛК можно свободно с сайта журнала [4].

Заключение

Данная тестовая программа может быть развита для проверки других специфичных узлов ПЛК. Кроме того, эту программу можно использовать в качестве заготовки для разных проектов автоматизации, поскольку она уже имеет развитое графическое меню, которое можно изменять и дополнять. А схему функциональных блоков легко заменить на необходимую для конкретной системы автоматизации.

Источники и ресурсы:

1. URL: <https://segnetics.com.ru>.
2. URL: <https://segnetics.com/ru/smlogix>.
3. Вальна О. Программирование логических контроллеров // СТА. 2025. № 1. С. 18.
4. URL: <https://www.cta.ru>.

Расширение возможностей генератора на DDS AD9837 по амплитуде выходного сигнала

Алексей Кузьминов

В статье описаны усилитель звукового диапазона частот с низким значением THD на базе ОУ LM3886TF и двухполярный стабилизированный источник питания (ИП) для него, позволяющий регулировать выходные напряжения от $\pm 6,6$ В до ± 30 В и током до 0,75 А на базе высоковольтного стабилизатора LM317HVT и ОУ LM675/TDA2050/LM1875. Прибор усиливает синусоидальный сигнал с генератора на базе DDS AD9837 [1] по амплитуде до более чем 20 В. Приведены принципиальные схемы, разводка и внешний вид плат, конструкция устройств и результаты их работы.

Введение

Амплитуда синусоидального сигнала, полученного с генератора зву-

кового диапазона частот на базе DDS AD9837, описанного автором в [1], не превышает 1 В. Такая амплитуда



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

достаточна для настройки и тестирования УМЗЧ и предварительного усилителя для него. Однако во многих случаях этого бывает недостаточно. Например, при калибровке, тестировании и настройке приборов, измеряющих действующее, средневыпрямленное и амплитудное значения синусоидальных сигналов и других устройств, требуется калиброванный синусоидальный сигнал звукового диапазона частот с амплитудой до 20 В. В настоящей статье этот пробел восполнен с помощью усилителя на базе ОУ LM3886TF и двухполярного стабилизированного ИП, позволяющего регулировать выходные и равные по абсолютной величине напряжения в диапазоне от $\pm 6,5$ В до ± 30 В всего одной ручкой на базе регулируемого высоковольтного стабилизатора LM317HVT и ОУ LM675/TDA2050/LM1875. Как будет видно из дальнейшего изложения, для работы усилителя требуется двухполярный ИП с напряжениями ± 28 В, а ток потребления усилителя не превышает 0,2 А. Однако сконструировать ИП с этими параметрами было бы своеобразным расточительством, поскольку такой ИП имеет ограниченное использование, поэтому автором и сконструирован регулируемый ИП с более широким диапазоном напряжений и большим током, нацеленный на более общее применение.

Статья построена следующим образом. Вначале приводятся принципиальные схемы устройств, затем разводка и внешний вид их плат, далее – их конструкции, тестирование и результаты работы.

Принципиальные схемы

Усилитель состоит из собственно платы (рис. 1) и дополнительных устройств (рис. 2). Как можно увидеть

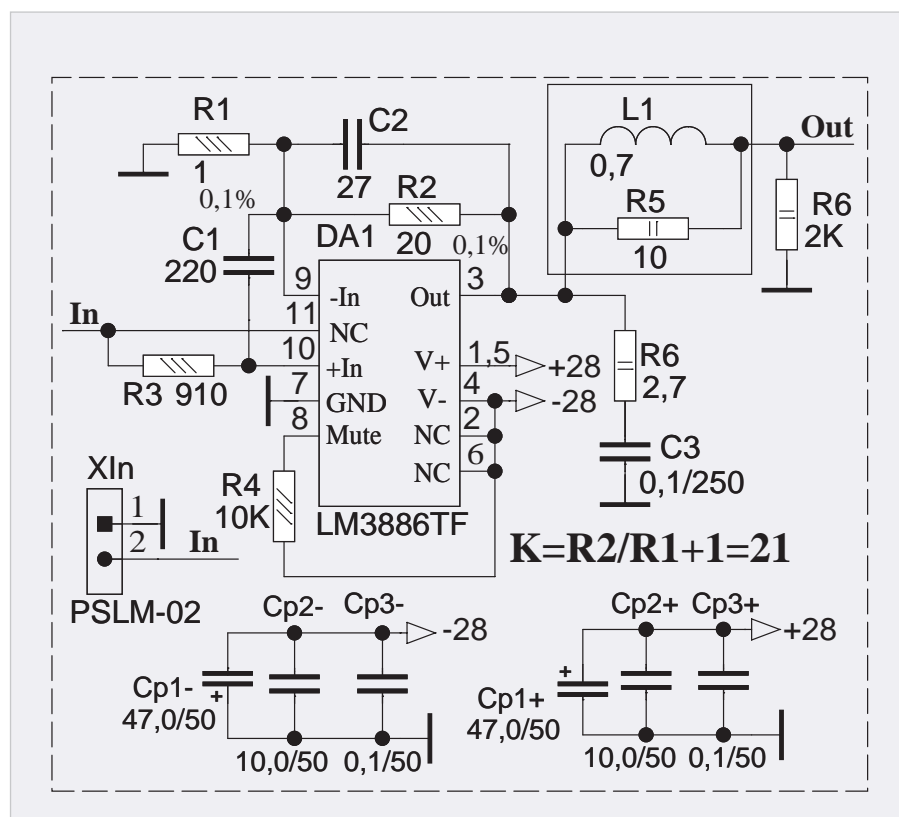


Рис. 1. Принципиальная схема платы усилителя

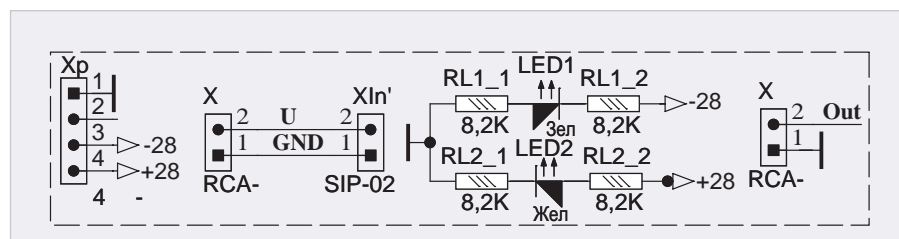


Рис. 2. Принципиальная схема дополнительных устройств к усилителю

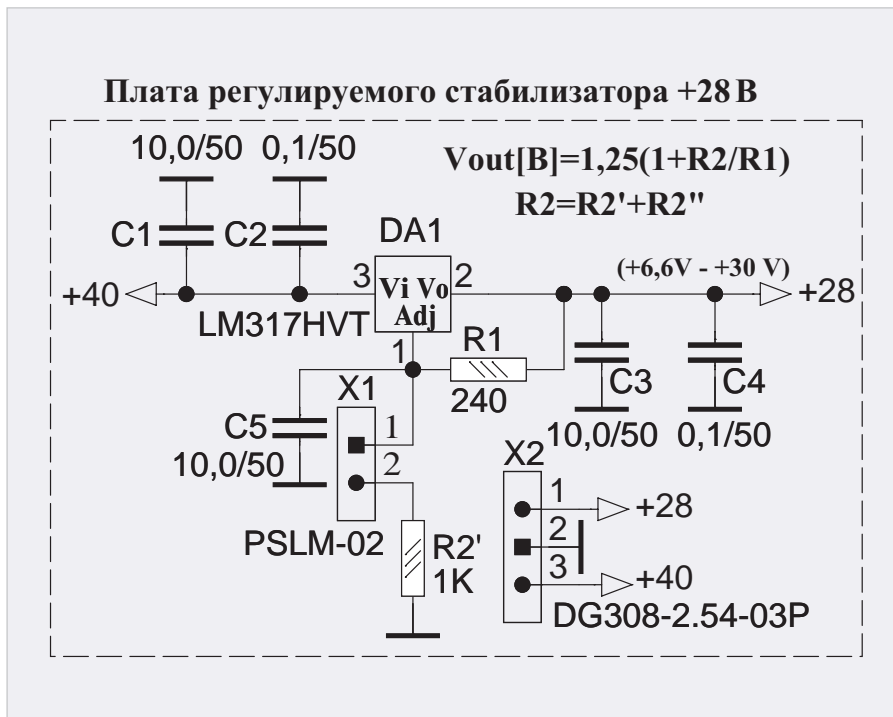


Рис. 3. Принципиальная схема платы регулируемого стабилизатора +28 В

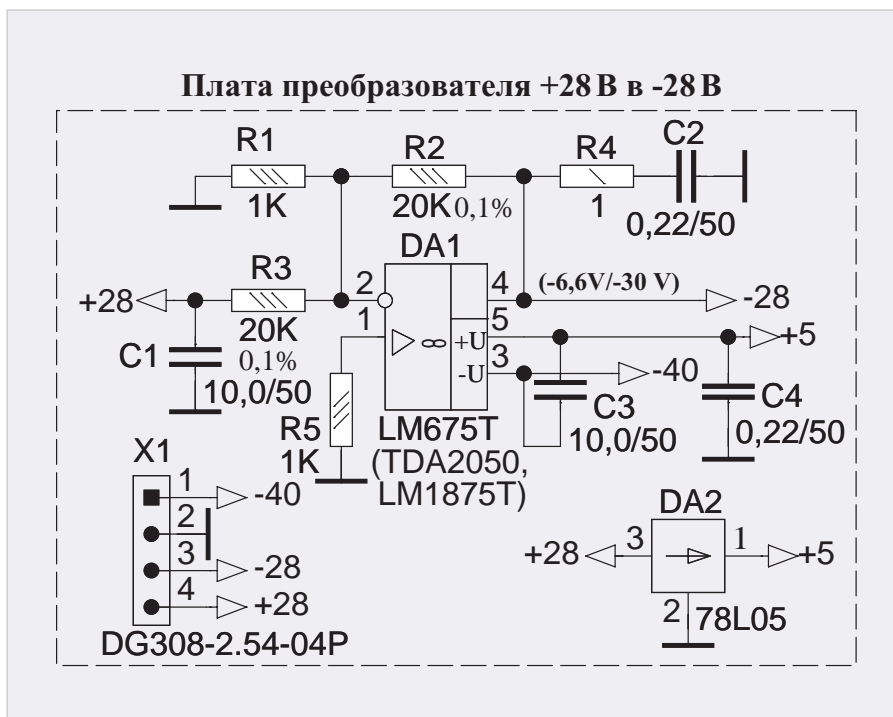


Рис. 4. Принципиальная схема платы преобразователя +28 В в -28 В

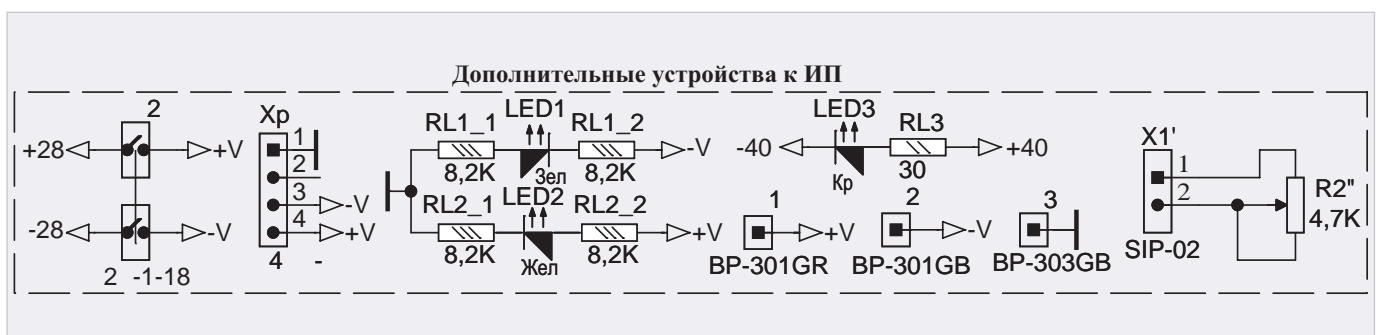


Рис. 5. Принципиальная схема дополнительных устройств ИИП

из схемы рис. 1, усилитель представляет собой классический неинвертирующий усилитель на ОУ LM3886TF (DA1) с коэффициентом усиления $K_U = R_2/R_1 + 1 = 20K/1K + 1 = 21$. Для сохранения баланса токов на входах ОУ, как известно, резистор $R_3 = R_2 \parallel R_1 = 20K \parallel 1K = 0,952K$, поэтому номинал резистора R_3 выбран равным 910 Ом – ближайшим к 0,952K из ряда E24 (5%). Конденсатор C1, RC-цепочка R6C3 и RL-цепочка R5L1, рекомендуемые производителем LM3886 (см. его справочный листок – Datasheet), препятствуют самовозбуждению ОУ. Конденсатор C2 установлен для получения адекватной переходной характеристики ОУ. Конденсаторы Cr1–...Cr3– и Cr1+...Cr3+ – блокировочные. Входной сигнал от генератора (In) подаётся на разъём PSLM-02 (XIn), а выходной сигнал Out подключается к гнезду RCA (Xвых, рис. 2), расположенному на боковой стенке корпуса усилителя (см. далее). К дополнительным устройствам (рис. 2) относятся следующие. Трёхпроводной кабель питания, который одним концом с соответствующими сигналами впаивается в плату усилителя (рис. 1), а на втором его конце расположена розетка РС4ТВ-Р (Xp), которая подключается к ИП. Двухпроводной коаксиальный кабель, на одном конце которого расположен гнездовой цанговый разъём SIP-02 (Xin'), который подключается к разъёму XIn платы (рис. 1), а на втором его конце – штекер RCA-Шт (Xвх), который подключается к генератору. Оба эти кабеля пропущены через резиновую втулку, расположенную на боковой стенке корпуса усилителя (см. далее). Для индикации присутствия напряжений питания в усилителе предусмотрены светодиоды LED1 (зелёного цвета) и LED2 (жёлтого цвета) со своими токоограничительными резисторами RL1_1, RL1_2 и RL2_1, RL2_2 соответственно, которые встав-

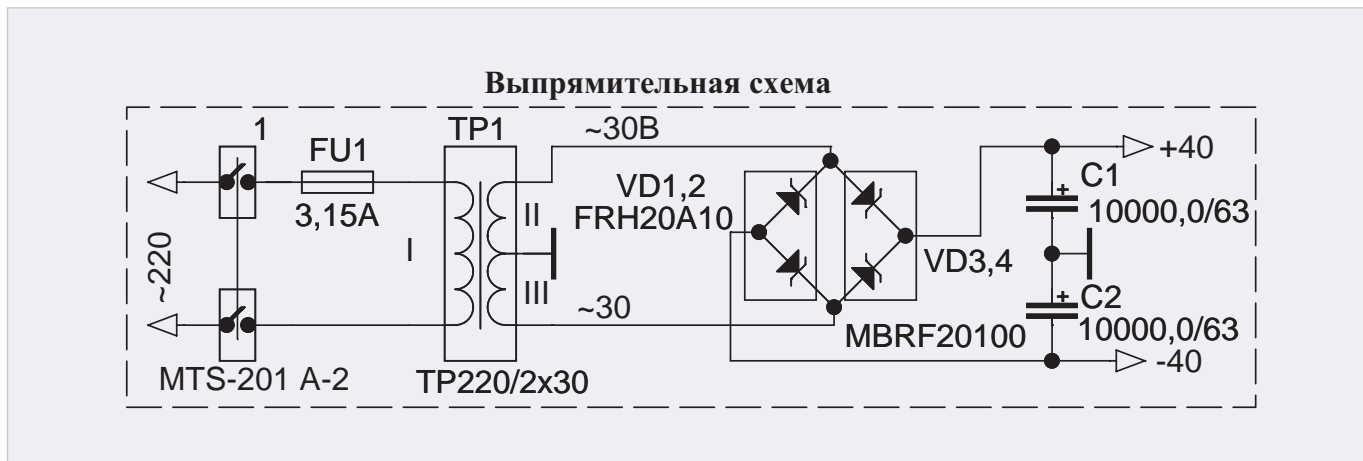


Рис. 6. Принципиальная схема выпрямителя ИП

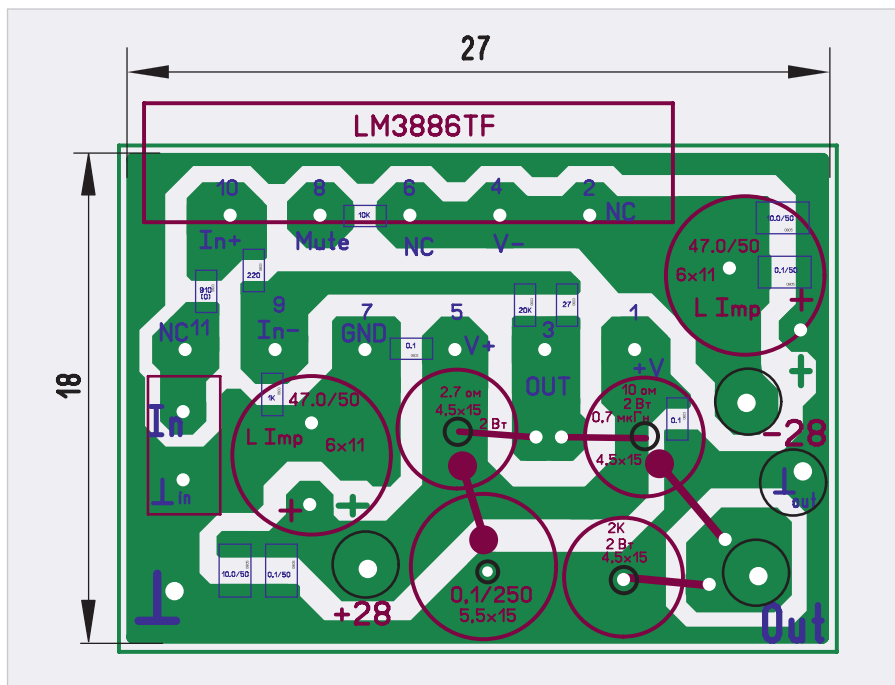


Рис. 7. Разводка платы усилителя

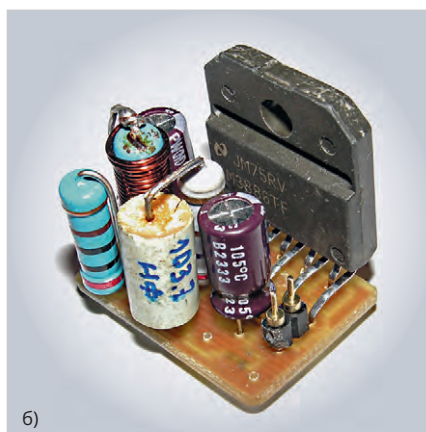
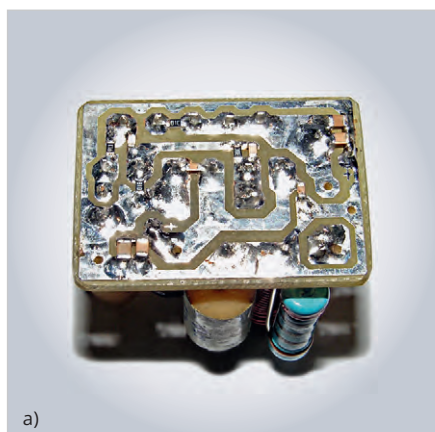


Рис. 8. Внешний вид платы усилителя:
а – вид со стороны разводки, б – вид с обратной стороны

лены в отверстия на верхней стенке корпуса усилителя (см. далее).

ИП состоит из следующих устройств.

Плата регулируемого стабилизатора (рис. 3). Она включает в себя высоковольтный (до 60 В) регулируемый стабилизатор LM317HVT (DA1),

выходное напряжение которого V_{out} , как известно, определяется следующим соотношением: $V_{out} = 1,25 (1 + R2/R1)$, где $R1 = 240$ Ом, а $R2$ состоит из постоянного резистора $R2'$ номиналом 1 К и переменного резистора $R2''$ номиналом 4,7 К марки СП5-35Б. Как написано в его справочном листке, этот резистор с высокой электрической разрешающей способностью. Конструкция резистора построена по груботочной схеме, имеет два резистивных элемента, при этом подвижные системы управляются от одного вала. При регулировке сопротивления вначале происходит поворот подвижной системы точного резистивного элемента от упора до упора, а затем поворот подвижной системы грубого резистивного элемента. Этот резистор подключается к разъёму PSLM-02 (X1) платы двухпроводным кабелем, на одном конце которого расположен ответный разъём SIP-02 (X1'), а его второй конец припаян к резистору. Конденсаторы C1...C4 – блокировочные. Входное напряжение (+40 В), выходное напряжение (+6,6...+30 В) питания и «земля» подключаются к плате с помощью трёхконтактного клеммника DG308-2.54-03P (X2, рис. 3). На рис. 3 выходное напряжение условно обозначено как «+28», так как оно выставлено для работы усилителя.

Плата преобразователя +28 В в -28 В (рис. 4). На самом деле эта плата преобразует положительное входное напряжение, полученное с платы регулируемого стабилизатора (+6,6...+30 В) в отрицательное напряжение (-6,6...-30 В), но поскольку входное положительное напряжение условно обозначено как «+28 В», то и выходное напряжение условно обозначено как «-28 В». В схеме используется ОУ LM675 (DA1), но могут быть

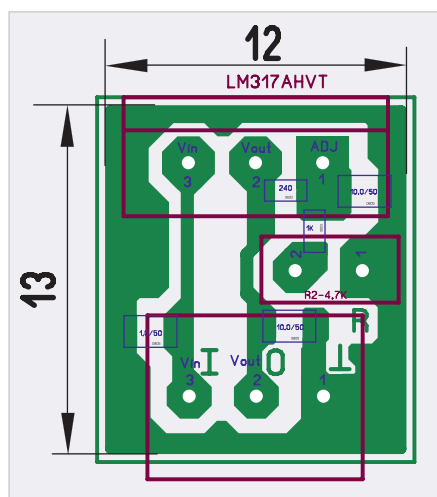
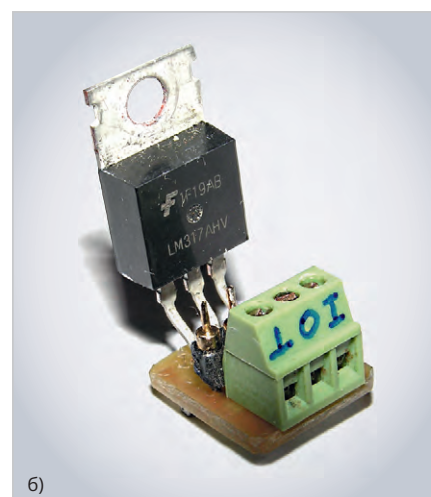


Рис. 9. Разводка платы регулируемого стабилизатора

применены ОУ TDA2050 и LM1875T. Часть этой схемы автор «подсмотрел» в справочном листке на ОУ L165 (L200). Она представляет собой так называемый трекинг-регулятор напряжения (Tracking Regulator). Схема состоит из классического инвертирующего усилителя на базе ОУ LM675 (DA1) с коэффициентом усиления, равным $K = -R2/R3 = -20K/20K = -1$ и двух резисторов R1 и R5, подключённых к «земле». Если входное положительное напряжение равно +28 В, то благодаря инверсии ОУ выходное напряжение будет равно -28 В. Но здесь есть один нюанс. Дело в том, что, как видно из схемы, отрицательное напряжение питания, подаваемое на третий вывод ОУ, составляет -40 В, а максимальное напряжение питания этого ОУ (т.е. напряжение между выводами U+ и U-) составляет 60 В (для LM1875 тоже 60 В, для TDA2050 - 50 В). Если на вход U+ будет подано напряжение +30 В (со стабилизатора, рис. 3), то максимальное напряжение питания этого ОУ составит уже 70 В (30 В + 40 В), что недопустимо. В схеме на L165, если напряжение питания больше 36 В, то для ограничения положительного напряжения питания используется стабилитрон. Но стабилитрон рассчитан на небольшой ток (даже у 5-ваттного стабилитрона максимальный ток стабилизации составляет 50–70 мА), и, кроме того, мощный стабилитрон достаточно габаритен (и дорог). Вместо стабилитрона автор применил обычный 5-вольтовый стабилизатор 78L05 (DA2), который выдаёт максимальный ток до 100 мА, достаточно миниатюрен и дешёв. В этом случае мак-



Рис. 10. Внешний вид платы регулируемого стабилизатора: а – вид со стороны разводки, б – вид с обратной стороны



симальное напряжение питания ОУ будет составлять $40 В + 5 В = 45 В$, что меньше 60 В (для LM675T и LM1875) и даже меньше 50 В (для TDA2050). Кроме того, поскольку минимальное выходное напряжение регулируемого стабилизатора составляет 6,6 В (рис. 3), то, учитывая падение напряжения L78L05 (около 1,5 В), этот преобразователь будет работать и выдавать выходное напряжение -6,6 В. Здесь также следует отметить, что потребление тока по положительному напряжению питания ОУ очень мало (несколько мА), поскольку он выдаёт отрицательное напряжение, и выходной транзистор, подключённый к положительному напряжению питания, при этом закрыт (см. схему ОУ в справочном листке). RC-цепочка R4C2 исключает самовозбуждение ОУ, конденсаторы C1, C3, C4 – блокировочные. Все напряжения и «земля» подключаются к 4-контактному клеммнику DG308-2.54-04P (X1, рис. 4).

К дополнительным устройствам ИП (рис. 5) относятся следующие. Выключатель питания П2Т-1-18 (BK2), который подаёт выходные напряжения на 4-контактный разъём РС4ТВ-В (Xp), на светодиоды LED1 и LED2 со своими токоограничительными резисторами RL1_1, RL1_2 и RL2_1, RL2_2 и на приборные клеммы ВР-301GR (КП1), ВР-301GB (КП2), а клемма ВР-303GB (КП3) постоянно соединена с «землёй». Светодиод LED3 со своим токоограничительным резистором RL3 постоянно подключён к напряжениям -40 В и +40 В, полученным в выпрямительной схеме (рис. 6), и сигнализирует, что прибор подключён к сетевому напряжению пита-

ния (220 В). С помощью переменного резистора R' регулируются выходные напряжения ИП.

В выпрямительной схеме (рис. 6) используется сетевой трансформатор мощностью около 100 Вт, первичная обмотка которого подключается к напряжению $\approx 220 В$, а с двух вторичных обмоток снимаются два напряжения по $\approx 30 В$. Подключение к сетевому напряжению осуществляется с помощью выключателя MTS-201 A2 (BK1) и предохранителя на 3,15 А (FU1). Схема выпрямления со средней точкой построена на двух сдвоенных диодах Шоттки FRH20A10 (VD1,2) с общим анодом и двух сдвоенных диодах Шоттки MBRF20100 (VD3,4) с общим катодом. Диоды рассчитаны на максимальный ток 20 А и максимальное обратное напряжение 100 В. В качестве сглаживающих используются два конденсатора C1 и C2 по 10 000 мкФ, рассчитанных на максимальное напряжение 63 В.

Здесь следует заметить, что в использовании в ИП двух выключателей (BK1, рис. 6) и BK2 (рис. 5) есть две причины. Во-первых, при подключении сетевого напряжения к ИП с помощью BK1 (рис. 6) в платах рис. 3 и рис. 4 возникают достаточно высокие броски напряжений, которые могут повредить подключённый к ИП прибор, поэтому, прежде чем включить выключатель BK1, выключатель BK2 обязательно должен быть выключен. После включения выключателя BK1 загорается светодиод LED3 (рис. 5), сигнализирующий о подключении ИП к сетевому напряжению. Далее уже можно включать выключатель BK2, после

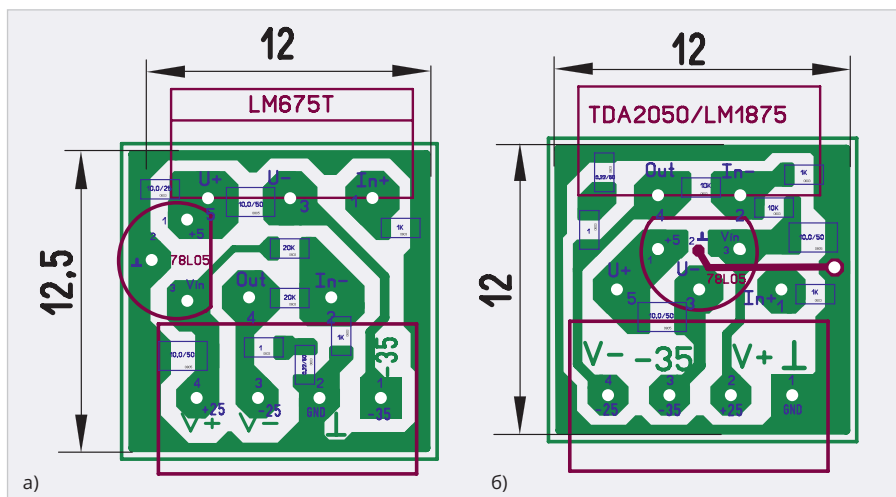


Рис. 11. Разводка плат преобразователя +28 В в -28 В:
а – на базе ОУ LM675Т, б – на базе TDA2050/LM1875Т

включения которого загораются светодиоды LED1 и LED2 (рис. 5), сигнализирующие о подаче выходных напряжений на клеммы КП1, КП2 и разъём Хр (рис. 5). Во-вторых, выключатель ВК2 сразу снимает выходные напряжения ИП с подключённого прибора, а при выключении ВК1 на конденсаторах С1 и С2 (рис. 6) остаётся напряжение, о чём свидетельствует светодиод LED3 (рис. 5), который ещё долго горит (около 2–3 минут). Поэтому выключение ИП обязательно следует делать в обратном порядке: вначале выключить ВК2, а затем выключить ВК1.

Разводка и внешний вид плат

Разводка всех плат сделана автором с помощью программы SprintLayout 6.0. Файл разводки в формате *.lay6 приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Все платы изготовлены из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм с односторонним медным покрытием.

Разводка платы усилителя (рис. 7) достаточно проста, а плата имеет размер 18×27 мм. Внешний вид платы (рис. 8) показан ещё до припайки проводов питания, «земли» и выходного сигнала усилителя.

Разводка платы регулируемого стабилизатора (рис. 9) также проста, а плата миниатюрна: она имеет размер всего 12×13 мм, о чём можно судить по её внешнему виду (рис. 10).

Разводка плат преобразователя +28 В в -28 В на базе ОУ LM675Т (рис. 11а) и ОУ TDA2050/LM1875Т (рис. 11б) достаточно проста, а сами платы также миниатюрны и имеют размеры 12×12,5 мм и 12×12 мм соответственно. В связи с тем, что вид плат практически одинаковый, на рис. 12 показана только плата на базе ОУ LM675Т. Хотя схема преобразо-

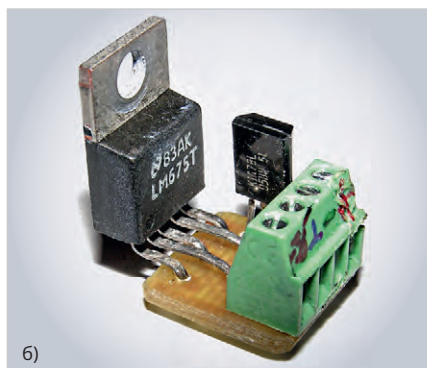


Рис. 12. Внешний вид платы преобразователя +28 В в -28 В на базе ОУ LM675Т:
а – вид со стороны разводки, б – вид с обратной стороны

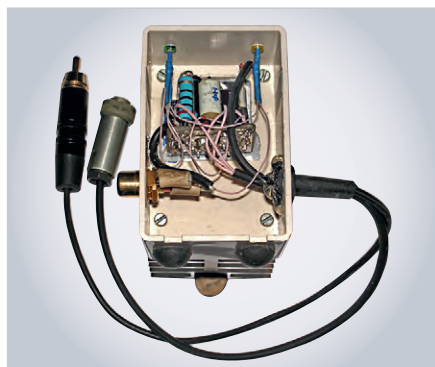


Рис. 13. Усилитель в открытом корпусе

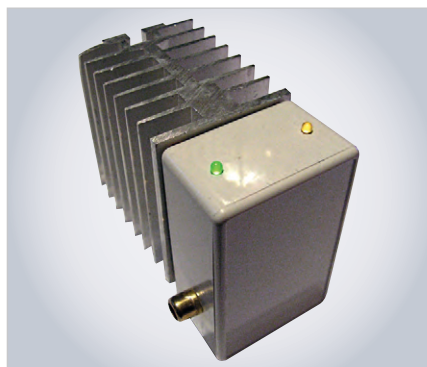


Рис. 14. Работающий усилитель в корпусе в сборе



Рис. 15. ИП в открытом корпусе



Рис. 16. Работающий ИП в корпусе в сборе



Рис. 17. Подключение усилителя к генератору, ИП и осциллографу

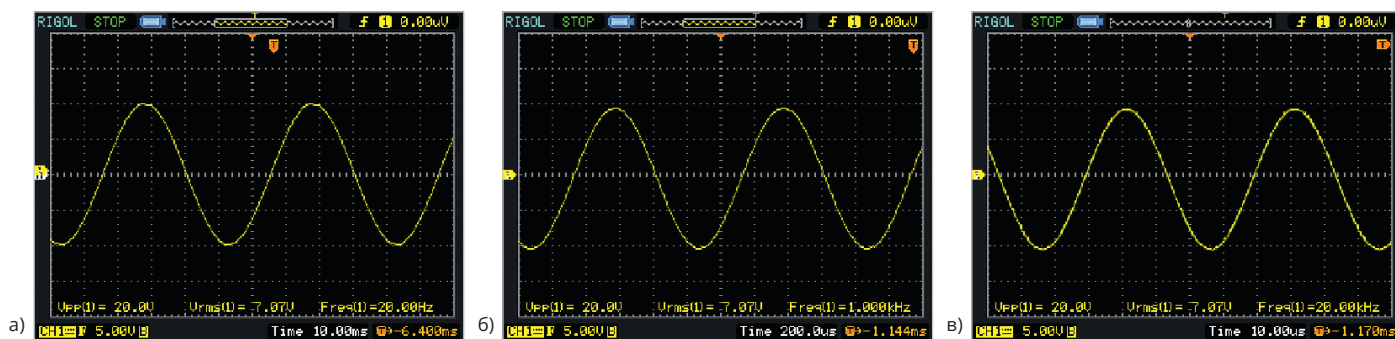


Рис. 18. Осциллограммы выходных сигналов усилителя при амплитуде 10 В и частотах: а – 20 Гц, б – 1 кГц, в – 20 кГц

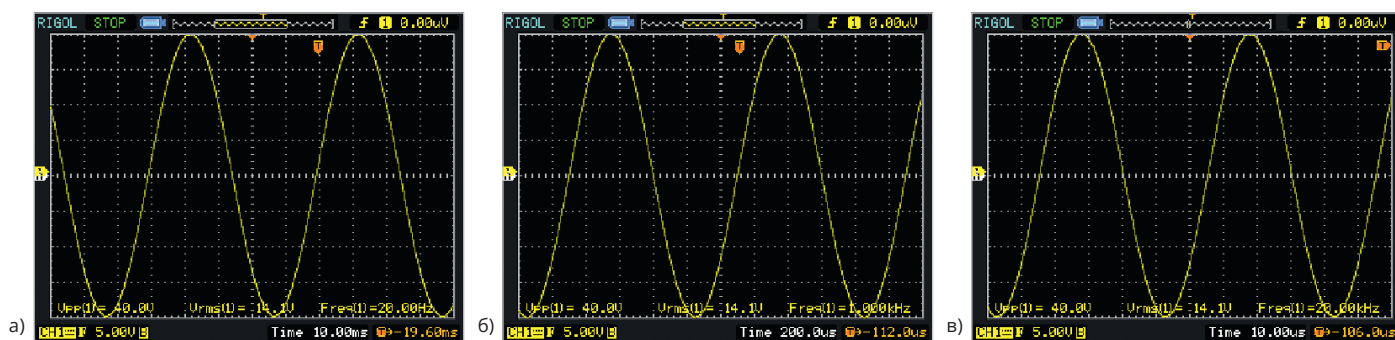


Рис. 19. Осциллограммы выходных сигналов усилителя при амплитуде 20 В и частотах: а – 20 Гц, б – 1 кГц, в – 20 кГц

зователя одна и та же (рис. 4), в связи с тем, что у LM675T и TDA2050/LM1875T отличается формовка выводов, то и разводка у плат разная.

Конструкция усилителя

Усилитель расположен в пластиковом корпусе размером 70×45×30 мм (корпус «20-33») с защёлкивающейся крышкой (рис. 13, рис. 14), в котором прорезано окно для укрепления платы усилителя на радиаторе. Кабели питания (от ИП) и входного сигнала (с генератора) пропущены через резиновую втулку, вставленную в отверстие на одной боковой стенке корпуса и дополнительно укреплённую термоклеем. На второй боковой стенке укреплен разъём (гнездо RCA), на который выведен выходной сигнал с усилителя. Светодиоды с припаянными к ним токоограничительными резисторами, изолированными термоусаживаемой трубкой (она синего цвета на рис. 13), вставлены с натягом в отверстия на верхней стенке корпуса. В качестве радиатора автор использовал недорогой (250–300 руб.) охладитель «O131-60» размером 60×60×45 мм, применяемый для охлаждения силовых диодов, тиристоров и симисторов (Д132, ДЛ132, Т132, ТС132) штыревого исполнения. Корпус прикручен к радиатору четырьмя винтами М2,5, а чтобы корпус не касался радиатора, между

ними установлены стеклотекстолитовые шайбы для винтов М2,5. Корпус ОУ LM3886TF прикручен к радиатору винтом М3 и кузовной (широкой) шайбой с использованием теплопроводящей пасты КПТ-8. Чтобы корпус усилителя не скользил, на нижней стенке корпуса укреплены две самоклеящиеся резиновые ножки, а на нижней задней поверхности охладителя укреплен небольшой кусочек ластика. Ножки и ластик хорошо заметны на рис. 13. Таким образом, корпус опирается на три точки и не скользит. После часа работы усилителя радиатор нагрелся до температуры (по ощущению автора) около 37–40°C. Так что выбор радиатора такого размера себя оправдал.

Конструкция ИП

ИП расположен в корпусе размером 140×190×60 мм («G767») – рис. 15, рис. 16. На задней стенке корпуса укреплены: выключатель сетевого питания, предохранитель, гермоввод, в котором зажат сетевой провод, а также радиатор, прикрученный к задней стенке 4 винтами М3. Сами платы держатся на выводах обеих мощных микросхем, прикрученных к радиатору через керамические изоляционные прокладки с использованием теплопроводной пасты КПТ-8. Для этого в задней стенке прорезано окно. Трансформатор прикручен

к дну корпуса винтом М4 впотай с помощью стойки с внутренней резьбой М4 и специальной чашки. Между трансформатором, дном корпуса и чашкой установлены резиновые прокладки. Выпрямительные диоды с двух сторон прикручены к небольшому радиатору, который также прикручен к дну корпуса 2 винтами М2 впотай. Электролитические конденсаторы укреплены в специализированных хомутах с отогнутыми лепестками, прикрученными к дну корпуса винтами М3 впотай. Приборные клеммы, резистор, регулирующий выходные напряжения, разъём, дублирующий выходные напряжения, светодиоды (с припаянными к ним токоограничительными резисторами, изолированными термоусаживаемой трубкой) в специальных оправках и выключатель питания (выходных напряжений) укреплены на передней (лицевой) стенке корпуса. К дну корпуса приклеены 4 резиновые ножки, входящие в комплект поставки корпуса.

Результаты работы усилителя и ИП

Прежде чем подключать усилитель к ИП, была произведена проверка его работы и выяснено, какой максимальный ток он может обеспечить. Для этого к двум крайним клеммам «–» – чёрный и «+» – крас-

ный (рис. 16) был подключён цифровой тестер, работающий в режиме измерения постоянного напряжения (DC). А к двум выходным напряжениям выпрямителя (к соответствующим выводам электролитических конденсаторов) был подключён стрелочный тестер, который также работал в режиме измерения постоянного напряжения. Далее был включён сетевой выключатель питания, а вслед за ним – выключатель выходных напряжений. Затем ручкой, регулирующей выходные напряжения, было выставлено напряжение 56 В (2×28 В). После этого выключатель выходных напряжений был выключен, и к клеммам был подключён мощный переменный резистор (ПЭВР-100), на котором было выставлено сопротивление около 56 Ом, и последовательно с которым был подключён также мощный переменный резистор номиналом 500 Ом мощностью 40 Вт. Таким образом, общее максимальное сопротивление нагрузки составило 556 Ом. Измеренное стрелочным тестером выходное напряжение выпрямителя составило 80 В. После включения выключателя выходных напряжений стрелочный тестер показал 74 В, а цифровой тестер 56 В. Далее, уменьшая сопротивление переменного резистора 500 Ом и измеряя выходное напряжение цифровым тестером, автор добился порога, когда выходное напряжение на нагрузке уменьшилось до 55,9 В. При этом показания стрелочного тестера снизились до 61 В. После этого был выключен выключатель выходных напряжений и вслед за ним – выключатель сетевого напряжения. Отсоединив нагрузку и измерив её сопротивление цифровым тестером, автор получил значение 74,8 Ом \approx 75 Ом. При этом был подсчитан максимальный выходной ток I_{МАХ} ИП при выходном напряжении 56 В, который составил: I_{МАХ} = 56 В / 75 Ом = 0,748 А \approx 0,75 А.

Далее было выяснено, какой максимальный ток потребляет усилитель. Для этого были последовательно соединены два ИП с защитой по току: Б5-47 и ИП, описанный автором в [2]. На обоих ИП было выставлено напряжение 28 В и максимальный ток 0,75 А. Подключив к ИП усилитель, к нему генератор, включив питание и выставив максимальную амплитуду выходного сигнала усилителя (20 В), автор стал уменьшать макси-

мальный ток на обоих ИП. При токе 0,17 А (\approx 0,2 А) ИП Б5-47 перешёл в режим защиты по току, и таким образом было выяснено, что при напряжениях ± 28 В максимальное потребление тока усилителем составило 0,2 А, что меньше, чем максимальный ток (0,75 А), который способен выдать описываемый ИП при этих напряжениях. Это означает, что описываемый ИП с запасом подходит для работы усилителя.

Далее автор протестировал работу усилителя. Для этого питание усилителя было подключено к описываемому ИП, на котором были выставлены два напряжения ± 28 В, входной сигнал усилителя – к генератору [1], а выходной сигнал с усилителя – к осциллографу (рис. 17). После этого с осциллографа были сняты осциллограммы при двух значениях амплитуды: 10 В и 20 В и трёх значениях частот: 20 Гц, 1 кГц и 20 кГц (рис. 18, рис. 19).

Анализ осциллограмм показал следующее. При амплитуде выходного сигнала усилителя в 10 В, т.е. при размахе 20 В («Vpp(1)=20.0V») действующее значение сигнала составило 7,07 В («Vrms(1)=7.07V») – рис. 18. При амплитуде 20 В, т.е. при размахе 40 В («Vpp(1)=40.0V»), действующее значение составило 14,1 В («Vrms(1)=14.1V») – рис. 19. Осциллограммы были сняты при трёх частотах: 20 Гц («Freq(1)=20.00Hz»), 1 кГц («Freq(1)=1.000kHz») и 20 кГц («Freq(1)=20.00kHz») – рис. 18, рис. 19.

Как известно, если сигнал является периодической функцией с амплитудой $U_{\text{Амп}}$, действующим значением $U_{\text{д}} = U_{\text{Амп}} \cdot 1/\sqrt{2} \approx U_{\text{Амп}} \times 0,7071$ и симметричной относительно оси X, т.е. положительное значение функции симметрично относительно её отрицательного значения, если отрицательное значение сдвинуть по оси X вровень с положительным значением, то такая функция является синусоидой.

Как видно из рис. 18, амплитуда $U_{\text{Амп}} = 10$ В, а действующее значение $U_{\text{д}}$ равно 7,07 В, т.е. $U_{\text{д}} = U_{\text{Амп}} \times 0,7071 = 10 \text{ В} \times 0,7071 \approx 7,07 \text{ В}$. Это означает, что сигнал строго синусоидален. При $U_{\text{Амп}} = 20$ В и $U_{\text{д}} = 14,1$ В (рис. 19), т.е. $U_{\text{д}} = U_{\text{Амп}} \times 0,7071 = 20 \text{ В} \times 0,7071 \approx 14,1 \text{ В}$, что также подтверждает синусоидальность сигнала. Таким образом, при всех трёх частотах (20 Гц, 1 кГц и 20 кГц) и амплитудах 10 В и

20 В выходной сигнал усилителя строго синусоидален.

Кроме того, при тестировании ОУ LM3886 в режиме переменного напряжения (AC) в его справочном листке указана нагрузка в 2 К (см. Test Circuit #2 – AC Electrical Test Circuit в Datasheet). Как видно из рис. 1, в схеме усилителя установлена аналогичная нагрузка: R6 = 2 К. При такой нагрузке и амплитуде выходного напряжения $U_{\text{Амп}} = 20$ В выходная мощность Р усилителя, как нетрудно подсчитать, составит: $P = (U_{\text{Амп}}^2) / R6 = (20 \text{ В})^2 / 2 \text{ К} = 400 \text{ В}^2 / 2000 \text{ Ом} = 0,2 \text{ Вт}$. А при такой мощности коэффициент гармонических искажений + шум (THD+N), как можно увидеть из справочного листка, составит не более 0,03%.

Резюмируя показания теста усилителя и описание теста ОУ LM3886 в справочном листке, можно констатировать, что выходной сигнал усилителя синусоидален, а THD+N < 0,03%.

Заключение

Применение ОУ LM3886TF позволило сконструировать усилитель синусоидальных сигналов, поданных на него с генератора звукового диапазона частот на базе DDS AD9837 [1], до амплитуды в 20 В с низкими искажениями (THD+N < 0,03%), и таким образом расширить возможности генератора по амплитуде, а применение высоковольтного стабилизатора LM317HVT и ОУ LM675/TDA2050/LM1875 – сконструировать ИП для этого усилителя. Генератор [1] совместно с усилителем может найти применение в настройке, калибровке и тестировании приборов, измеряющих амплитудное и действующее значения сигналов в звуковом диапазоне частот, а также в других областях звукоакустики. Кроме того, описанный в статье ИП также может быть использован самостоятельно в других разделах электроники и электротехники.

Литература

1. Кузьминов А. Генератор гармонических колебаний звукового диапазона на базе синтезатора частоты AD9837В, микроконтроллера EFM8SB10 и LCD Nokia-5110 с батарейным питанием // Современная электроника. 2023. № 6.
2. Кузьминов А. Применение мощного аудио ОУ LM1875Т в новых (не аудио) приложениях // Современная электроника. 2021. № 7.





ТОВАРИЩ!
БИЗНЕС РОСТ ЗАМЕДЛИЛ?

РАНО ВПАДАТЬ В СТУПОР!

НУЖНО КРИЧАТЬ О СЕБЕ НЕМЕДЛЯ,

А МЫ

ОБЕСПЕЧИМ РУПОР!



Журналы

Два наших журнала уважают в отрасли. Ваши статьи и рекламу в них увидят все наши читатели



Видеоканалы

YouTube, RuTube, VK – предоставляют вам возможность интересно рассказать о себе



Медиапортал

Это ваши новости и статьи, оперативно доставленные по адресу



Конференции

На наших конференциях ПТА вы заведёте новые контакты и расскажете о себе специалистам



Дизайн-студия

Дизайнеры и верстальщики сделают для вас эффективную рекламу, баннер, ролик



Специализированные конференции

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ 2026

Промышленная автоматизация

Цифровизация производства

Интернет вещей и большие данные

Искусственный интеллект

Информационная безопасность

Автоматизация зданий и инженерных систем

21-я специализированная конференция
11.02 ПТА - ЕКАТЕРИНБУРГ

7-я специализированная конференция
24.03 ПТА - КАЗАНЬ

17-я специализированная конференция
26-27.05 ПТА - САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

5-я специализированная конференция
22.09 ПТА - УФА

16-я специализированная конференция
27.10 ПТА - НОВОСИБИРСК

www.pta-expo.ru