

Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи серии LS обеспечивают надёжность космического уровня

Виктор Жданкин (Москва)

Для обеспечения более высокой надёжности и гарантированных рабочих характеристик в военных и космических спутниках, например, на низких круговых, средневысотных и геостационарных орбитах, а также в автоматических научно-исследовательских станциях дальнего космоса требуется применение преобразователей напряжения, которые способны обеспечить функционирование при воздействии совокупности внешних факторов космической среды. В предлагаемой статье представлены радиационно-стойкие (RAD-Hard™) DC/DC-преобразователи серии LS компании International Rectifier, мирового лидера в технологии управления электропитанием.

Одно- и двухканальные DC/DC-преобразователи серии LS компании International Rectifier разработаны для использования в бортовой аппаратуре космических аппаратов с длительными сроками активного существования.

Кроме функционирования при вредных воздействующих факторах внешней среды, DC/DC-преобразователи, разработанные для обеспечения электропитанием радиоэлектронной аппаратуры в этих системах, должны выполнять свои функции при воздействии всех видов радиации без ухудшения эксплуатационных характеристик и со сроком службы 10 – 15 лет. Кроме того, увеличение обрабатываемых потоков данных в подсистемах космических аппаратов привело к увеличению энергопотребления, и напряжение питания таких микросхем, как FPGA, ASIC и DSP, уменьшилось с 3,3 до 2 В и ниже. Для того чтобы обеспечить указанные значения, преобразователи должны формировать с высокой эффективностью низкое выходное напряжение из входного, имеющего широкий диапазон изменения. Принимая во внимание эти факторы, компания International Rectifier разработала ряд высоконадёжных радиационно-стойких DC/DC-преобразователей, которые способны выдерживать беспрецедентные уровни радиации. Устройства серии LS обеспечивают номинальную выходную мощность 30 Вт. Для соответствия требованиям стандарта MIL-STD-461C CE03 к уровню генерируемых кондуктивных помех, модули

снабжены встроенным помехоподавляющим фильтром на входе и обеспечивают выходные напряжения от 1,5 до 15 В с типичными значениями КПД до 83%, что по крайней мере на 5% больше, чем у ближайших конкурирующих устройств.

Модули выполнены с использованием достижений толстоплёночной многослойной гибридной технологии и изготавливаются на производственных линиях с применением автоматизированного испытательного оборудования, которое полностью сертифицировано Агентством материально-технического снабжения МО США (Defense Logistics Agency, DLA, ранее DSCC) в соответствии с техническими условиями MIL-PRF-38534. Гарантируется значение MTBF более чем 4,8 млн. ч, рассчитанное для температуры корпуса +35°C в жёстких условиях космического полёта. Для прогнозирования и оптимизации характеристик схемы использовалось PSpice-моделирование и имитация параметров в начале и в конце срока службы.

На рис. 1 представлена функциональная схема одноканального DC/DC-преобразователя, выполненного по одноконтурной прямоходовой схеме с фиксированной частотой преобразования 500 кГц и гальванической развязкой входных и выходных цепей, выравниваем напряжения в прямом канале передачи мощности, обратной связью по напряжению и встроенным помехоподавляющим фильтром на входе.

Входной помехоподавляющий фильтр обеспечивает соответствие требованиям стандарта MIL-STD-461C к уровню

кондуктивных помех без применения дополнительных внешних компонентов. Помехоподавляющий фильтр гарантирует, что энергия, поступающая на схему преобразователя, свободна от выбросов напряжения и шумов, кроме того, фильтр подавляет радиопомехи, генерируемые импульсным высокочастотным источником питания. Входной многосвязный фильтр включает компоненты для подавления синфазной и дифференциальной составляющих помехи, что обеспечивает стабильную работу преобразователя во всех условиях динамического изменения входного напряжения и нагрузки. Схема трансформаторной развязки в контуре обратной связи, используемая в этой конструкции вместо оптопары, сводит к минимуму чувствительность к температуре, старению и радиации. Преобразователи разработаны для обеспечения ряда выходных напряжений; имеются как одноканальные, так и двухканальные варианты. Одноканальные модели формируют напряжения постоянного тока 1,5; 1,8; 2,5; 3,3; 5 и 12 В. Двухканальные модели обеспечивают номинальные значения выходного напряжения ± 5 , ± 12 и ± 15 В. К тому же, преобразователи созданы для обеспечения оптимальной эффективности во всём широком диапазоне тока нагрузки и входного напряжения.

На рис. 2 представлена зависимость КПД от тока нагрузки для двухканального преобразователя LS2815D. Показаны данные для трёх входных напряжений – от минимального до максимального значения, при температуре корпуса +25°C. Видно, что в диапазоне от 50% до полной нагрузки сохраняется значение КПД свыше 80% во всём диапазоне входного напряжения. Подобные результаты характерны и для низковольтных одноканальных преобразователей.

Все модели в серии оснащены командным входом дистанционного включения-выключения и функцией регулировки выходного напряжения. Размеры стального корпуса 38,1 × 58,42 × 10,8 мм, а масса менее 80 г. Медные

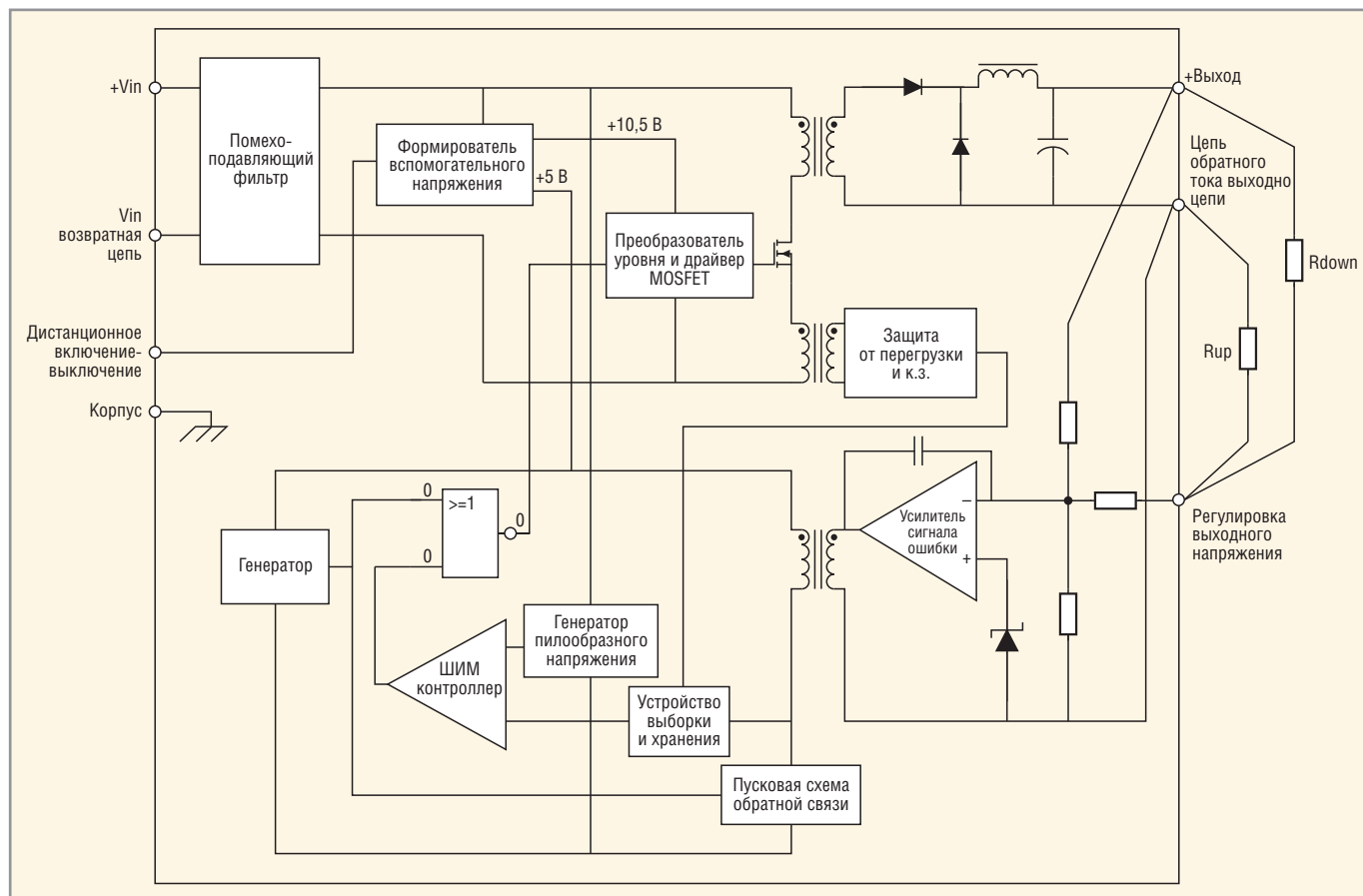


Рис. 1. Функциональная схема высоконадёжного радиационно-стойкого одноканального DC/DC-преобразователя серии LS, выполненного по одноканальной прямоходовой структуре с постоянной частотой преобразования 500 кГц, обратной связью по напряжению и трансформаторной развязкой в контуре обратной связи

выводы для ввода/вывода сигналов и напряжения уплотнены прочной керамикой, а корпус герметизирован шовно-роликовой сваркой. На рис. 3

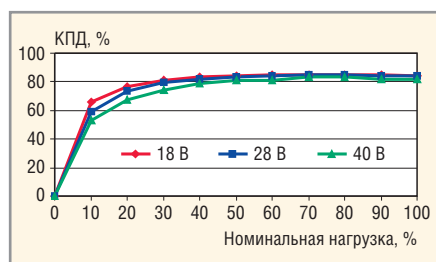


Рис. 2. Зависимость КПД от тока нагрузки для двухканального преобразователя с выходными напряжениями ±15 В

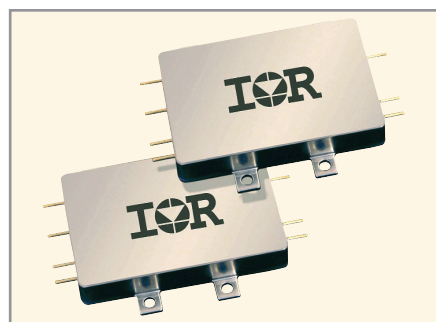


Рис. 3. Внешний вид конструкции модулей DC/DC-преобразователей серии LS с встроенным помехоподавляющим фильтром

показан внешний вид модуля серии LS с горизонтальным расположением выводов для объёмного монтажа. Необходимо заметить, что размеры корпуса, номинальные мощности, расположение выводов DC/DC-преобразователей серии LS аналогичны моделям серии M3L с меньшими показателями радиационной стойкости и преобразователям военного назначения серии ATS. Общая конструктивная платформа учитывает сходство между архитектурами систем военного и космического назначения. Для применений, требующих более высоких уровней мощности, рекомендуется применять DC/DC-преобразователи серий M3H, M3G и GH.

В соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-975, все применяемые компоненты имеют запас по техническим параметрам. Кроме того, доступна подробная документация, которая включает сведения об анализе электрических и температурных воздействий и снижении номинальных параметров, об анализе аварийных режимов и влиянии отказов компонентов на функционирование модуля, расчёт среднего времени наработки на отказ

и анализ изменения эксплуатационных характеристик изделия при наилучшем сочетании внешних факторов. В таблице представлены доступные модели DC/DC-преобразователей серии LS.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ

Разработанные для военных и аэрокосмических применений преобразователи являются радиационно-стойкими, способными выдерживать воздействие суммарной накопленной дозы радиации с поглощённой дозой свыше 100 крад (Si). Они также устойчивы к воздействию заряженных частиц, вызывающих одиночные эффекты при пороговых линейных потерях энергии частиц до 82 МэВ см²/мг. Для гарантированного исключения значительного ухудшения технических характеристик в установившемся режиме работы при радиационном воздействии с поглощённой дозой 150 крад (Si) модули преобразователей подвергались низкоинтенсивному радиационному облучению, а также заряженными частицами низких энергий, чтобы подтвердить отсутствие одиночных эффектов. Испытывались четыре мо-

дели: два из испытываемых модулей были одноканальными устройствами, а два других модуля были двухканальными. В категории одноканальных модулей использовалась модель с выходным напряжением 5 В, в двухканальном варианте была выбрана модель с выходным напряжением ± 15 В, так как все модели в серии имеют подобную конфигурацию схемы; различия только в коэффициентах трансформации силового трансформатора, значениях параметров компонентов выходных фильтров и цепей коррекции, чтобы обеспечить конкретные выходные параметры. При испытаниях выходы модулей были нагружены резистивной нагрузкой, равной половине максимальной нагрузки.

ИСПЫТАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ СУММАРНОЙ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЫ РАДИАЦИИ И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Устройства облучались в гамма-установке, на которой в качестве излучателя используется гамма-излучение изотопа ^{60}Co с активностью радиоизотопного источника 19 200 Кюри. Установка работала в режиме обеспечения мощности дозы примерно 1 крад (SiO_2)/мин. Для позиционирования модуля относительно источника излучения с целью обеспечения требуемой мощности дозы применялась тележка с приводом от ходового винта. Испытания осуществлялись в соответствии с требованиями стандарта MIL-STD-883, Method 1019.5, Condition B. Условие В оговаривает требования к испытаниям устройств, которые включают полупроводниковые компоненты, выполненные по MOS-технологии и предназначенные для применений с воздействием ионизирующих излучений с мощностью дозы < 50 рад (Si)/с. После воздействия гамма-излучением устройства выдерживались при температуре $+100^\circ\text{C}$ (отжигались) в течение 160 ч для восстановления первоначальных значений их параметров.

Также два образца подвергались испытаниям на стойкость к воздействию заряженных частиц, вызывающих одиночные сбои. В качестве источника радиоактивного излучения применялся циклический ускоритель заряженных частиц – циклотрон, способный сообщать тяжёлым ионам энергию до 15 МэВ. Для испытаний использовались одноканальная модель с выходным напряжением 2,5 В и двухканальная модель с выходом ± 15 В. При облучении оба модуля были нагружены на полную мощность. Они подвергались воздействию ионов ксенона и золота, создающих уровни линейных потерь энергии 47,6 и 83 МэВ $\text{см}^2/\text{мг}$.

Модули серии LS выдержали испытание облучением при суммарной накопленной дозе радиации с поглощённой дозой до 150 крад по объёмному кремнию и пороговыми значениями ЛПЭ до 83 МэВ $\text{см}^2/\text{мг}$. Наблюдались незначительные ухудшения установленного выходного напряжения при увеличении воздействия, но необходимо заметить, что тенденция к снижению напряжения уменьшилась после отжига. Также наблюдалось незначительное уменьшение КПД – менее чем на 1% – при поглощённой дозе 150 крад (Si). Несмотря на то что не все модели с разными выходными напряжениями были протестированы, результаты можно применить ко всей серии на основании подобия модулей серии. Параметрические изменения после воздействия накопленной дозы радиации были незначительными. Небольшие отклонения наблюдались при воздействии заряженных частиц. Однако не наблюдалось обратимых сбоев (SEU, Single Event Upset) и эффекта SEL (Single Event Latchup) – резкого возрастания тока потребления. Необходимо отметить, что доля обратимых и необратимых отказов в результате одиночных эффектов от воздействия протонов и ионов естественных радиационных поясов Земли

(ЕРПЗ), солнечных (СКЛ) и галактических (ГКЛ) космических лучей составляет 35% [1]. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что не всегда производители электронных компонентов предоставляют данные о стойкости компонентов к воздействию тяжёлых заряженных частиц, ограничиваясь только значением поглощённой дозы. Надёжно защититься от воздействия тяжёлых заряженных частиц и протонов (частиц энергий свыше 1 МэВ) путём применения дополнительных экранов не представляется возможным. Для обеспечения надёжного функционирования электронной аппаратуры в условиях воздействия тяжёлых частиц необходимо применять радиационно-стойкие компоненты, выполненные по специальным технологиям, таким как кремний на диэлектрике (Silicon-on-Insulator, SOI) и другие; себестоимость этих технологических процессов в 5 – 10 раз выше, чем традиционных.

Кроме высокой стойкости к воздействию радиации и факторов внешней среды, таких как предельная температура и влажность, низкое давление, солнечная радиация, механический удар и вибрация, преобразователи имеют оптимальную стабилизацию, устойчивость, низкие уровни пульсаций, защиту от перегрузки и короткого замыкания. В числе дополнительных особенностей можно отметить ограничение коэффициента заполнения периода импульса в зависимости от входного напряжения, защиту от пониженного входного напряжения, ограничение пускового тока для обеспечения мягкого запуска и значение КПД свыше 82% во всём диапазоне рабочих температур $-55...+85^\circ\text{C}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными факторами в успешной разработке интегрально-гибридных DC/DC-преобразователей серии LS являются правильный выбор компонентов для функционирования в условиях воздействия полей ионизирующих излучений космического пространства, оптимальный выбор материалов и структуры конструкции, консервативный подход к определению запаса технических параметров компонентов, удачная компоновка конструкции и разработка производственного процесса. Благодаря высоким значениям основных параметров, характеризующих эффективность – надёжность и

Основные технические характеристики DC/DC-преобразователей серии LS

Модель	Мощность (макс.), Вт	Номинальное значение выходного напряжения, В	Ток нагрузки (макс.), А	КПД, %
LS2801R5S	12	1,5	8	64
LS2802R5S	20	2,5	8	72
LS2803R3S	25	3,3	7,57	76
LS2805S	30	5	6	82
LS2812S	30	12	2,5	82
LS2815S	30	15	2	83
LS2805D	30	± 5	4,8	83
LS2812D	30	± 12	2,3	83

КПД – DC/DC-преобразователи серии LS подходят для применения в централизованных и распределённых системах электропитания космических аппаратов, использующих современные цифровые устройства с динамическим изменением потребляемого тока в случаях, когда установка корпуса помехоподавляющего фильтра невозможна.

В настоящее время DC/DC-преобразователи серии LS применяются в следующих зарубежных космических программах: Solar Dynamics Observatory (SDO), JWST, LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter), GPM (Global Precipitation Measurement), ST-8 (Space Technology 8), HST (Hubble Space Telescope), ODTML (Ocean Data Telemetry Microsat

Link), Mini RF, SmartSAT, DRP, JEM (ISS), Go-SAT, NPOESS, P-734, MMS, RSP.

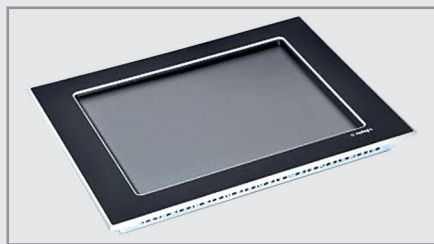
ЛИТЕРАТУРА

1. *Анашин В.С.* Средства контроля воздействия ионизирующих излучений космического пространства на РЭА космических аппаратов в области одиночных эффектов. Датчики и системы. 2009. № 9. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Системы сенсорных панелей для инфракрасного управления

Фирма Syslogic предлагает инфракрасные сенсорные панели промышленного применения. Невидимый инфракрасный затвор может управляться голыми руками, в перчатках или с помощью любого предмета. С целью удовлетворения требований эксплуатации в промышленных условиях передняя плата состоит из прочного, ударостойкого, стойкого к царапанью, устойчивого к воздействию химикалий, безопасного многослойного стекла.



Дисплеи могут работать при окружающих температурах в пределах $-30...+70^{\circ}\text{C}$. Для работы вне помещений модули защищены от влаги защитным лаком. Кроме этого, приборы рассчитаны на продолжительную работу благодаря их безвентиляторной конструкции. Приборы поставляются как сенсорные дисплеи или как сенсорные планшетные ПК.

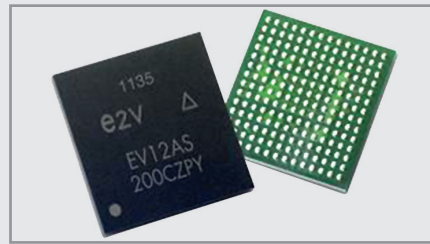
Первые могут связываться с промышленным компьютером через интерфейс DVI или RS232. В сенсорном планшетном ПК вычислительный блок интегрирован в корпусе монитора. Оба варианта предлагаются в различных размерах, диагональ экрана от 10 до 19 дюймов.

www.syslogic.com

12-разрядный A/D-преобразователь 1,5 гигавыборок/с

Фирмой e2v предлагается A/D-преобразователь с разрешением 12 разрядов и частотой дискретизации 1,5 гигавыборок/с. Он пригоден для применения в осциллографах с высоким разрешением, спектральных анализаторах, информационных линиях ра-

диорелейной связи, в микроволновой технике, а также для плат регистрации данных.



Преобразователь имеет ширину полосы по входу 2,3 ГГц и диапазон входного напряжения ± 500 мВ. Среди прочих параметров латентный период менее 5 тактов, что важно для систем реального времени, а также гарантированная работа без пропусков информации при 1,5 гигавыборках/с.

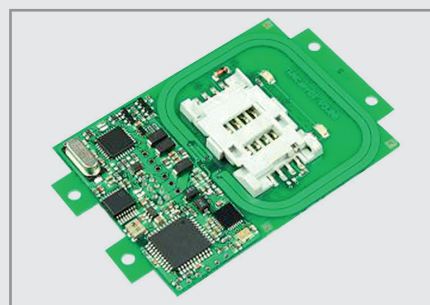
Импедансы аналогового входа и входа тактовой частоты стабильны и составляют 100 Ом, независимо от температуры и частоты. Коэффициент усиления, смещение и фазовый сдвиг тактовых импульсов могут точно выставляться, чтобы ещё больше повысить частоту выборок за счёт интерливинга.

EV12AS200 предлагается в корпусе FrBGA-196 на выбор для коммерческого ($0...+90^{\circ}\text{C}$) или для промышленного ($-40...+110^{\circ}\text{C}$) температурного диапазона.

www.e2v.com

RFID-считыватель для приложений безопасности

Фирма Elatec RFID Systems выпускает на рынок ещё одного представителя семейства продуктов TWN3. RFID-модуль TWN3 Mifare NFC перекидывает мостик между старым и новым стандартами радиочипов



класса 13,56 МГц. Благодаря его поддержке SAM-модулей (Secure Access Module) он может применяться для приложений безопасности, как, например, для услуги бесконтактной оплаты.

TWN3-считыватель обладает функцией NFC согласно ISO 18092. Он является программируемым и предлагается на выбор в конструкции печатной платы для установки с разъёмом RS232 или как USB-прибор в отдельном корпусе. Он поддерживает следующие транспондеры Mifare: Classic 1k и 4k, DESFire EV1, Mini, Plus S, X, Pro X, SmartMX, Ultralight и Ultralight C.

Среди транспондеров ISO14443A поддерживаются Legic Advant, SLE44R35 и SLE66Rxx. К ним добавляются ISO14443B-транспондеры Calypso, CEPAS, Moneo, а также SRI512, SRT512, SRI4K, SRIX4K и Sony FeliCa.

www.elatec-rfid.com

Микросхемы Qi-стандарта беспроводной передачи электроэнергии

Компания Texas Instruments представляет свою ИС bqTESLA для беспроводной передачи электроэнергии. В элементе типа bq500210 в одном чипе размещены передатчик и дополнительные элементы. В микросхеме интегрированы все функции, которые требуются для надёжного управления беспроводной передачей электроэнергии в бесконтактном зарядном устройстве.

С помощью метода индуктивной передачи электроэнергии по спецификациям Wireless Power Consortium (WPC) элемент может передавать электроэнергию таким переносным приборам Qi-стандарта, как, например, смартфоны, переносные игровые системы, цифровые камеры и Bluetooth Low-Energy-системы, а также устройствам медицинской техники и промышленного оборудования.

Вместе с приёмниками типа bq51013 или bq51011 элемент bq500210 представляет собой полное решение Qi-стандарта для беспроводной передачи электроэнергии.

www.ti.com/