

DC/DC-преобразователи для систем электропитания автономных объектов с постоянным напряжением 270 В

Электросистемы постоянного повышенного напряжения 270 В, применяемые на борту автономных объектов, характеризуются более высокой удельной мощностью по сравнению с системами низкого постоянного напряжения и способны обеспечить удельную мощность выше, чем системы переменного тока. Появление этого типа электросистем обусловлено созданием мощных высоковольтных транзисторов: на их основе разрабатываются устройства для осуществления процессов преобразования электрической энергии. Разработчику системы вторичного электропитания приходится решать задачу выбора компонентов для системы, наиболее полно соответствующих ее функциям, параметрам, условиям применения. Сейчас зарубежные и отечественные производители предлагают отдельные модули преобразователей напряжения для компоновки систем электропитания, что позволяет подобрать оптимальный вариант. В статье представлены модули DC/DC-преобразователей серии АНР, предлагаемые компанией International Rectifier. Они предназначены для формирования выходных напряжений от сетей постоянного напряжения 270 В для обеспечения электропитанием отдельных цепей радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов, которые отличаются высокой эффективностью и обширным набором сервисных функций, что позволяет легко интегрировать их в системы электропитания бортовой аппаратуры летательных аппаратов.

Виктор ЖДАНКИН
info@prochip.ru

Введение

Известно, что мощные системы постоянного повышенного напряжения 270 В, применяемые в системах электрооборудования автономных объектов, имеют более высокую удельную мощность (Вт/кг) по сравнению с системами низкого постоянного напряжения [1]. Существенное уменьшение массы электросистемы достигается при условии значительного снижения массы и объема большинства устройств, необходимых для построения системы. Основным компонентом системы вторичного электропитания автономных объектов, во многом определяющим ее эффективность, в том числе в части управления и резервирования, является модуль преобразования напряжения. Появление мощных высоковольтных транзисторов и разработка на их основе устройств для осуществления процессов преобразования электрической энергии в системах постоянного повышенного напряжения, а также совершенствование характеристик элементной базы преобразователей напряжения позволили уменьшить габариты при

большой мощности, повысить КПД и обеспечить нормальный тепловой режим для элементов схемы преобразователя. Для бортовых систем электропитания с постоянным повышенным напряжением 270 В компания International Rectifier (США) предлагает DC/DC-преобразователи серии АНР с выходной мощностью до 120 Вт, которые совместимы с модулями преобразователей серии AFL конструктивно, но отличаются дополнительной функцией защиты от перенапряжения на входе, использованием на 25% меньшего числа компонентов, что повышает надежность по сравнению с модулями серии AFL. Доступные модели DC/DC-преобразователей серии АНР со стандартными выходными напряжениями представлены в таблице 1.

Компания International Rectifier (IR) — признанный лидер в разработке и производстве высоконадежных DC/DC-преобразователей для аэрокосмических, военных, космических и других применений, предъявляющих повышенные требования к надежности аппаратуры, решила проблему уменьшения габаритов и повышения КПД своих

DC/DC-преобразователей путем применения своей высокоэффективной элементной базы и толстопленочной гибридной технологии. Кристаллы силовых полупроводниковых приборов устанавливаются на керамическую печатную плату, которая приклеивается к теплоотводящему основанию модуля. Для установки слаботочных узлов схемы управления используется поверхностный монтаж. На основной несущей плате установлены моточные элементы, конденсаторы

Таблица 1. Основные технические характеристики DC/DC-преобразователей серии АНР

Код модуля	Выходное напряжение, В	Выходная мощность, Вт	Ток нагрузки, А	КПД, %
АНР27003R3S	3,3	66	20	76
АНР27005S	5	80	16	82
АНР27006S	6	81	13,5	83
АНР27009S	9	90	10	84
АНР27012S	12	108	9	85
АНР27015S	15	120	8	87
АНР27028S	28	112	4	85
АНР27005D	±5	80	12,8	82
АНР27012D	±12	96	6,4	85
АНР27015D	±15	100	5,3	87

Таблица 2. Состав и последовательность контроля качества DC/DC-преобразователей компании International Rectifier для военных и аэрокосмических применений

Процедура контроля	Метод по MIL-STD-883	Изделие без суффикса	ES	HB	CH
Температурный диапазон, °C	—	−25...+85	−55...+125	−55...+125	−55...+125
Входной контроль компонентов	MIL-PRF-38534	Не применяется	Не применяется	Не применяется	Class H
Неразрушающий контроль качества соединений проводников	2023	Не применяется	Не применяется	Не применяется	Не применяется
Визуальный внутренний контроль (перед герметизацией)	2017	(Наилучшее коммерческое исполнение)	Да	Да	Да
Термоциклирование	1010	Не применяется	Условие В	Условие С	Условие С
Испытание на центрифуге (постоянное ускорение)	2001, по оси Y	Не применяется	500g	3000g	3000g
PIND- контроль (Particle Impact Noise Detection Test, контроль наличия под корпусом изделия посторонних частиц)	2020	Не применяется	Не применяется	Не применяется	Не применяется
Электротермотренировка	1015	Не применяется	48 часов при повышенной температуре	160 часов при +125 °C	160 часов при +125 °C
Окончательный контроль по электрическим параметрам (Group A)	MIL-PRF-38534 и спецификация изделия	+25 °C	+25 °C	−55, +25, +125 °C	−55, +25, +125 °C
PDA (Percent Defective Allowable calculation, вычисление допустимого процента дефектных изделий)	MIL-PRF-38534	Не применяется	Не применяется	Не применяется	10%
Контроль герметичности: тонкие и грубые течи	1014	Условие А	Условие А, С	Условие А, С	Условие А, С
Рентгеновский радиографический контроль	2012	Не применяется	Не применяется	Не применяется	Не применяется
Визуальный внешний контроль	2009	(Наилучшее коммерческое исполнение)	Да	Да	Да

космических системах. Модули с уровнем отбраковки CH полностью соответствуют требованиям технических условий MIL-PRF-38534 по классу H (уровень качества для военной техники). Необходимо заметить, что отбраковка потенциально ненадежных модулей за счет дополнительных испытаний, выявляющих потенциальную ненадежность или ускоряющих развитие механизмов отказов и не влияющих на качество экземпляров продукции, выдержавшей испытания, позволяет повысить надежность модулей на 1–1,5 порядка и более.

Комплексный подход

Современные тенденции развития масштабных систем электрооборудования самолетов и «полностью электрических» самолетов (все системы являются электрическими) требуют целостного подхода для поддержания чрезвычайно высокой долговременной надежности, максимально возможного значения среднего времени наработки на отказ (MTBF) и наименее возможного значения среднего времени восстановления (MTTR). Оба показателя надежности зависят от способа реализации самой системы и ее составных частей. С переходом к производству самолетов, в которых все системы являются электрическими, возрастает потребность в модулях DC/DC-преобразователей для обеспечения электропитанием с подходящим уровнем напряжения и мощности со всеми требуемыми функциональными возможностями и техническими характеристиками для каждой из электрических и электронных подсистем, которые заменяют эквивалентные механические и гидравлические подсистемы. Долговременная надежность, оптимальная работоспособность и функционирование таких электрических и электронных подсистем в большой степени зависят от качества стабилизированного напряжения, формируемо-

фильтров. Корпус DC/DC-преобразователей герметизирован и заполнен инертным газом. Эта технология обеспечивает предельно достижимую в настоящее время плотность упаковки компонентов бескорпусного исполнения, максимальную согласованность температурных коэффициентов расширения всех узлов сборки, минимальное сопротивление теплопередачи от всех теплонагруженных элементов конструкции к поверхности теплоотвода, минимальное количество внутрисхемных электрических соединений и наивысшую степень герметичности изделия [2, 3]. Компания IR начала разработку и производство решений для преобразования энергии в аппаратуре космических аппаратов и кораблей и в системах стратегического оружия с 1993 года. Благодаря недавно созданному центру разработки в Дании ком-

пания стала крупным поставщиком DC/DC-преобразователей для применения в авиационных, ракетных и космических системах.

Гибридно-пленочные DC/DC-преобразователи изготавливаются на производственных мощностях, сертифицированных в соответствии с требованиями технических условий MIL-PRF-38534, и доступны с четырьмя уровнями отбраковки согласно требованиям стандарта MIL-STD-883 для обеспечения стойкости к воздействию таких факторов внешней среды, как предельные температуры, механический удар, вибрации, пониженное давление, соляной туман и другие.

В таблице 2 представлены состав и последовательность испытаний, которые проводятся для контроля качества модулей DC/DC-преобразователей, предназначенных для применения в военной технике и аэро-

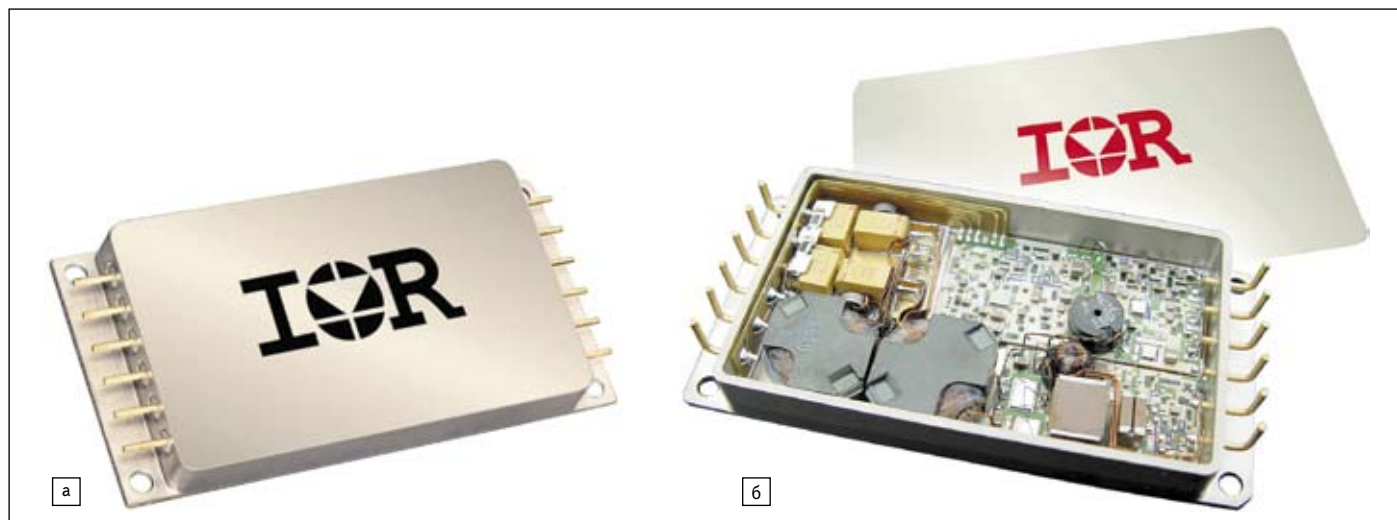


Рис. 1. Внешний вид гибридно-пленочных модулей DC/DC-преобразователей серии АНР:

а) исполнение корпуса Case X с горизонтальным расположением выводов; б) исполнение корпуса Case W с выводами, изогнутыми вверх под углом 90° (верхняя крышка снята)

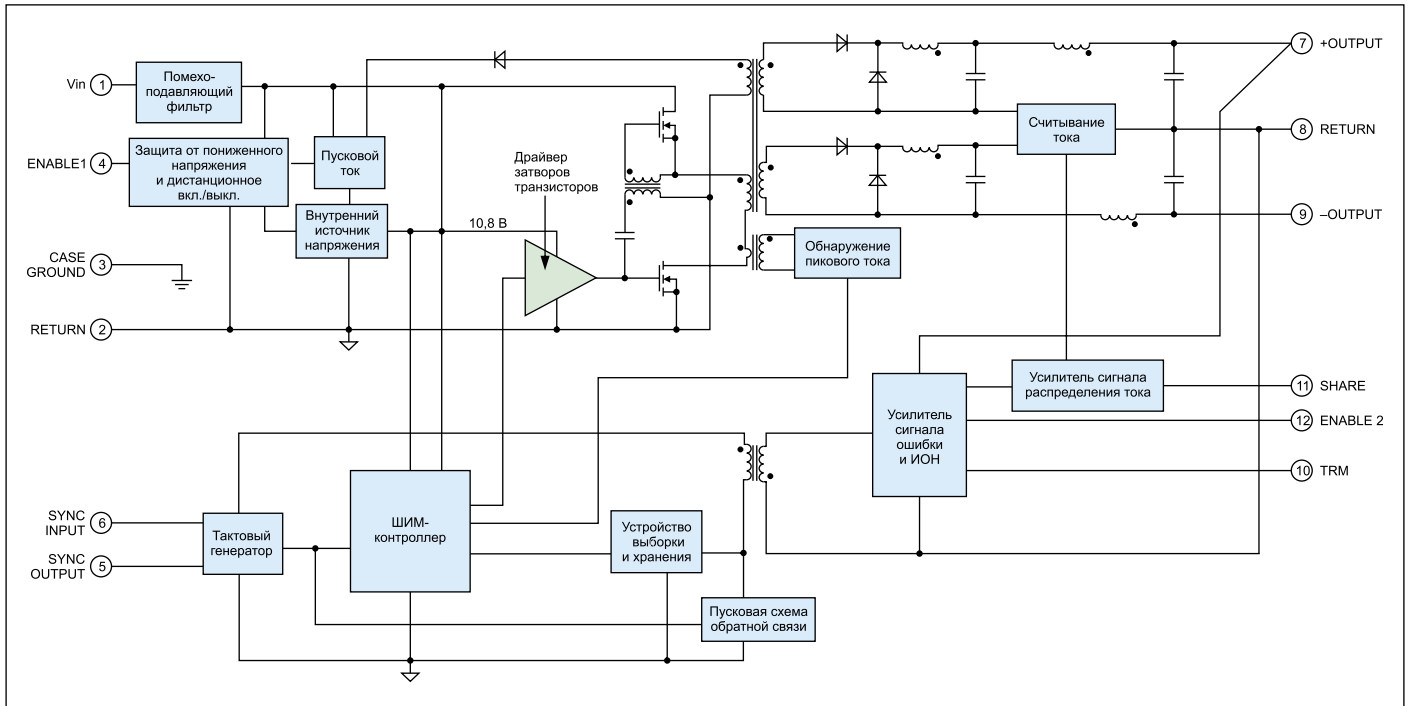


Рис. 2. Структурная схема двухканального модуля DC/DC-преобразователя серии АНР

го подобными DC/DC-преобразователями. Это обусловлено тем, что самолет имеет стандартные электрические шины, тогда как для каждой электронной подсистемы по всему самолету обычно требуются различные уровни напряжения и тока, которые обеспечивает DC/DC-преобразователь, при этом он сам снабжается промежуточным напряжением постоянного тока. Преобразователь также обеспечивает локальную изоляцию, фильтрацию и стабилизацию. На рис. 1 показан внешний вид модулей DC/DC-преобразователей серии АНР: исполнение с горизонтальным расположением выводов для объемного монтажа и конструкция с выводами, загнутыми под углом 90° вверх (крышка удалена).

Выпускаются также модули в корпусах с монтажными проушинами и горизонтальным расположением выводов для объемного монтажа (исполнение Case Y) и с выводами, загнутыми вниз под углом 90°, для монтажа на печатную плату (исполнение Case Z).

Структурная схема двухканального DC/DC-преобразователя серии АНР с гальванической развязкой между входными и выходными цепями, имеющего однотактную прямоходовую структуру, со встроенным помехоподавляющим фильтром на входе показана на рис. 2.

Модуль преобразует нестабилизированное напряжение промежуточной шины 270 В постоянного тока в стабилизированное выходное напряжение. Известно, что в однотактном прямоходовом преобразователе напряжения при закрывании силового транзистора под воздействием индуктивности рассеяния трансформатора и емкости между истоком и стоком транзистора происходит выброс

напряжения стока, который может быть достаточно большим (более чем в два раза превышающим входное напряжение). Чтобы выдержать этот выброс напряжения, а также обеспечить работу при двойном напряжении входной сети, в схеме преобразователя применяется два последовательно включенных транзистора MOSFET. Для регулирования выходного напряжения используется метод широтно-импульсной модуляции с постоянной рабочей частотой и обратной связью по напряжению, защитой от перегрузки, пониженного входного напряжения, превышения выходного напряжения и с плавным запуском, что особенно важно при высоких напряжениях на входе преобразователя.

При достижении входным напряжением 100% максимального значения защита от превышения входного напряжения выключит модуль, а при падении входного напряжения ниже этого порога модуль автоматически восстановит свою работоспособность.

В схеме преобразователей серии АНР используется оригинальная запатентованная компанией IR импульсная трансформаторная развязка в контуре обратной связи, обеспечивающая оптимальную стабилизацию при скачках входного напряжения и импульсном изменении тока нагрузки. Эта система обратной связи производит выборку выходного напряжения на выходе широтно-импульсного модулятора с фиксированной тактовой частотой (номинальное значение — 550 кГц). Схема формирования напряжения в контуре прямой передачи (состоит из элементов схемы ограничения пускового тока и формирования внутреннего напряже-

ния) с ограничением коэффициента заполнения импульсов обеспечивает ограничение высокого входного напряжения и ограничение выходного напряжения в случае выхода из строя контура обратной связи.

Сигналы дистанционного включения/выключения, прикладываемые относительно общих точек первичных или вторичных цепей, обеспечивают удобное произвольное дистанционное управление преобразователем с использованием сигнала логического уровня. Эту функцию можно применять для формирования программного включения отдельных модулей в соответствии с необходимым алгоритмом.

Схема драйвера затвора усиливает выходной сигнал микросхемы ШИМ-контроллера для обеспечения быстрой зарядки входной емкости силовых ключей на мощных транзисторах MOSFET. Небольшой трансформатор между затворами транзисторов MOSFET, установленный на выходе драйвера затворов, служит для развязки верхнего силового транзистора. Разделительный конденсатор, установленный между выходом драйвера и этим трансформатором, предотвращает насыщение трансформатора. Конденсатор обеспечивает сдвиг уровня выходного напряжения драйвера, который зависит от относительной длительности управляющих импульсов [4]. Для размагничивания сердечника силового трансформатора во время выключения силового ключа используется специальная размагничивающая обмотка. В целом схема модуля функционирует с замкнутым контуром регулирования, гарантирующим отличные динамические свойства и стабильные рабочие характеристики.

Основные параметры и некоторые рекомендации по применению

Безусловно, обеспечение технических характеристик имеет первостепенное значение для каждого DC/DC-преобразователя. При производстве модулей преобразователей с целью проверки соответствия технических характеристик установленным в спецификации производится выходной контроль электрических параметров при воздействии повышенной и пониженной температур, а именно при -55 , $+25$ (нормальная температура) и $+125$ °C.

Необходимо обеспечить достаточно хорошую стабилизацию напряжения при всех динамических изменениях входного напряжения и тока нагрузки. Этот параметр представляется в процентном отношении номинального значения выходного напряжения при заданных пределах изменения входного напряжения и/или при заданных пределах изменения тока нагрузки, и значение этого параметра должно укладываться в пределах $\pm 1\%$. Динамические свойства очень важны, они означают, что при импульсном изменении тока нагрузки обеспечивается необходимое стабилизированное напряжение для всех ответственных нагрузок. Так, при изменении значения тока нагрузки от 50 до 100% (и в обратной последовательности) за время ≥ 10 мкс напряжение на выходе одноканальных преобразователей АНР27003R3S/АНР27005S изменяется на -450 мВ (min) и $+450$ мВ (max) с восстановлением до номинального значения в течение 200 мкс (max), в то время как при изменении значения тока нагрузки от 10 до 50% (и в обратной последовательности) время перехода к установившемуся значению составит 400 мкс (max).

Входное напряжение питания не часто изменяется скачкообразно, но необходимо обеспечить устойчивость к динамическим изменениям напряжения на входе. При скачкообразном изменении входного напряжения от 160 до 400 В (и в обратной последовательности) в течение ≥ 100 мкс выходное напряжение изменяется на $+500$ мВ (max) и -500 мВ (min) с восстановлением до номинального значения в течение 500 мкс (тип.).

Еще одним важным показателем является КПД. Более высокое значение КПД обеспечивает меньшее рассеивание тепла в модуле преобразователя, что требует применения теплоотводов с меньшими габаритами и, как следствие, означает увеличение такого показателя, как удельная мощность (значение удельной мощности для модели АНР27015 S составляет 4290 Вт/дм³), а также снижение потребляемой мощности от источника первичной энергии, что позволяет уменьшить расход топлива. Значение КПД модуля АНР27015S при 100%-ной нагрузке и номинальном значении входного напряжения 270 В достигает 87%. Поскольку число таких

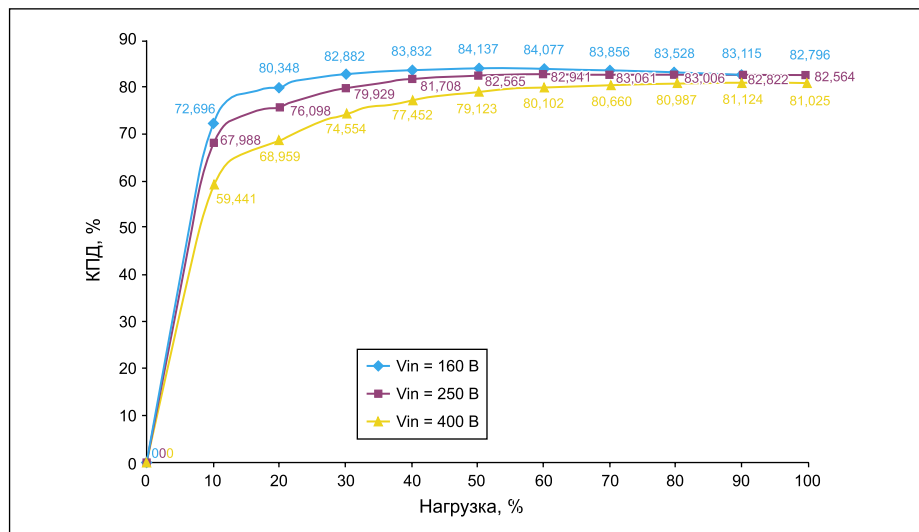


Рис. 3. Типовая зависимость КПД одноканального DC/DC-преобразователя АНР27005S (выходное напряжение 5 В) от нагрузки для разных входных напряжениях при температуре $+25$ °C

DC/DC-преобразователей в системе может быть большим, влияние КПД становится все более существенным, так как повышение КПД на несколько процентов позволяет значительно сэкономить средства потребителей. Типовая зависимость КПД от нагрузки при различных входных напряжениях для модуля АНР28005S представлена на рис. 3.

Небольшое (чуть менее 0,5%) уменьшение КПД при 100% выходной мощности объясняется дополнительным ростом потерь в компонентах модуля при подходе к их предельным энергетическим возможностям [5]. Из графика следует, что КПД достигает максимального значения при 70%-ной нагрузке. В этом режиме модуль рассеивает допустимую мощность, а его надежность будет близкой к максимальному значению.

Многие чувствительные электронные нагрузки восприимчивы к пульсациям, шуму и импульсным помехам на шине стабилизированного напряжения постоянного тока. Пульсация (переменная составляющая) выходного напряжения задается в процентах от номинального напряжения или в абсолютных значениях. Пульсация выходного напряжения одноканальных модулей АНР2700R3RS и АНР27005S равна 30 мВ (от пика до пика), она измеряется осциллографом с полосой пропускания до 10 МГц при 100%-ной нагрузке и входных напряжениях 160, 270 и 400 В.

При функционировании большого числа DC/DC-преобразователей в одной системе нужно обеспечить их работу на одной частоте. Для выполнения этого требования преобразователи серии АНР снабжены входом для сигнала синхронизации частоты преобразования от внешнего генератора, а также могут служить источником сигнала синхронизации. Порт ввода сигнала синхронизации обеспечивает синхронизацию от любого внешнего источника частотного сигнала

с диапазоном частот от 500 до 700 кГц, тогда как выход сигнала синхронизации способен обеспечить сигнал для управления пятью дополнительными преобразователями для синхронизации частоты преобразования. Коэффициент заполнения сигнала синхронизации должен составлять от 10 до 90%, максимальное значение низкого уровня составляет $+0,8$ В, а минимальное значение высокого уровня равно $+2$ В.

Выходной сигнал синхронизации представляет собой непрерывную последовательность импульсов с частотой 550 ± 50 кГц с коэффициентом заполнения $15 \pm 5\%$. Параметры этого сигнала совместимы с теми, что требуются для порта ввода сигнала синхронизации модулей серии AFL. Сигнал синхронизации также может быть использован при параллельной работе модулей преобразователей для обеспечения более высокой мощности одного стабилизированного канала напряжения шины постоянного тока. Типовая схема подключения сигнала синхронизации при параллельной работе модулей питания показана на рис. 4.

При параллельной работе преобразователей важно учитывать рекомендации по некоторым настройкам и следовать рекомендациям по обеспечению одинакового выходного тока, распределяемого между всеми включенными параллельно преобразователями, которые подробно представлены в справочной документации [6, 7]. Важным свойством модулей серии АНР в режиме параллельной работы является то, что дополнительно к равномерному распределению тока между выходами модулей равномерно распределяется также воздействие температуры. Таким образом, в том случае, когда один из параллельно включенных модулей работает при повышенной температуре корпуса, ток, который он выдает в нагрузку, будет уменьшен для компенсации воздействия температуры на этот модуль.

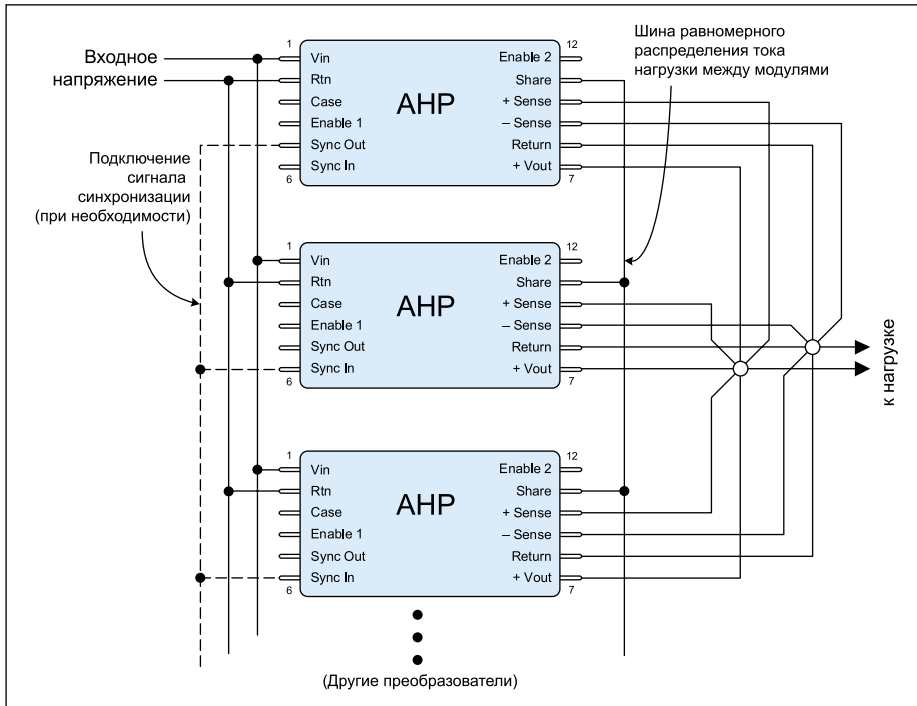


Рис. 4. Рекомендуемая схема соединения модулей DC/DC-преобразователей серии ANP при параллельной работе

на рис. 5 показана форма плавно увеличивающегося выходного напряжения и получающегося в результате плавное увеличение тока.

Выход каждого преобразователя должен быть защищен от перегрузки по току и короткого замыкания. Это помогает избежать многих проблем и защитить преобразователь, нагрузку и другие подсистемы. Защита по току ограничивает ток нагрузки на уровне не более 125% номинального значения, в этой точке ограничения ток выходное напряжение снижается до 90% от номинального значения. В режиме короткого замыкания или перегрузки по току максимальная мощность, рассеиваемая в модуле, не превышает 33 Вт.

Кроме того, DC/DC-преобразователи серии ANP также имеют защитную функцию для предотвращения чрезмерной нагрузки входной шины и от воздействия импульсной помехи при передаче во входную шину или из выходной шины. Помехоустойчивость к кондуктивным импульсным помехам в частотном диапазоне от 30 Гц до 150 кГц обеспечивается LC-фильтром с вносимым затуханием 70 дБ (номинальное). Преобразователи серии ANP270XX функционируют и обеспечивают технические параметры при нормальных изменениях напряжения в переходном процессе, отклонениях от нормы напряжения в установившемся состоянии и отклоняющихся от средней величины импульсах положительного напряжения. Функционирование устройств будет прервано при аномальных импульсах напряжения отрицательной полярности, но устройства возобновят нормальную работу, как только напряжение шины возвратится к нормальному установившемуся значению в пределах рабочего диапазона. На рис. 6 показано, что кондуктивные помехи, генерируемые модулем, находятся ниже предельной границы.

Анализ температурных и электрических воздействий показывает достаточные запасы

Для обеспечения оптимального распределения нагрузки между модулями при параллельной работе важно сохранять симметричность соединения. Поэтому выходы преобразователей следует соединять с нагрузкой проводниками с одинаковой длиной и диаметром медной жилы, а проводники цепи внешней обратной связи (sense) каждого модуля должны соединяться в общей физической точке, желательно у нагрузки совместно с проводами, соединяющими выходы преобразователей и обратными проводами. Все выходы равномерного распределения (share) модулей должны быть соединены вместе при параллельной работе. Вывод share, служащий для равномерного распределения тока между

параллельно включенными модулями, может быть использован и для других целей. В случае использования одного модуля напряжение, формируемое на этом выводе, может быть использовано для контроля выходного тока. Выходное напряжение на этом выводе в режиме холостого хода модуля равно +1 В и линейно возрастает при увеличении тока нагрузки до +2,2 В при полной нагрузке.

Разнообразные электронные нагрузки работают с большей надежностью, когда мощность постоянного тока подается постепенно, таким образом, чтобы напряжение возросло до установившегося значения линейно в течение нескольких миллисекунд. Эта функция предусмотрена в преобразователях серии ANP:

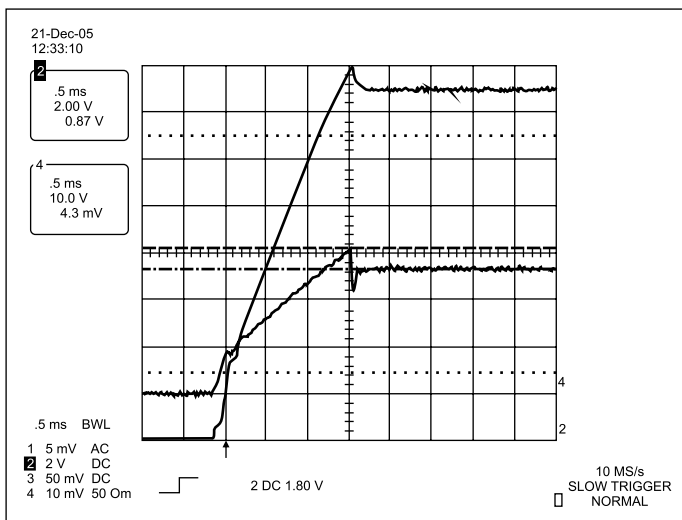


Рис. 5. Плавное нарастание выходного напряжения модуля ANP28005S и плавное увеличение тока нагрузки при включении модуля, получающееся в результате

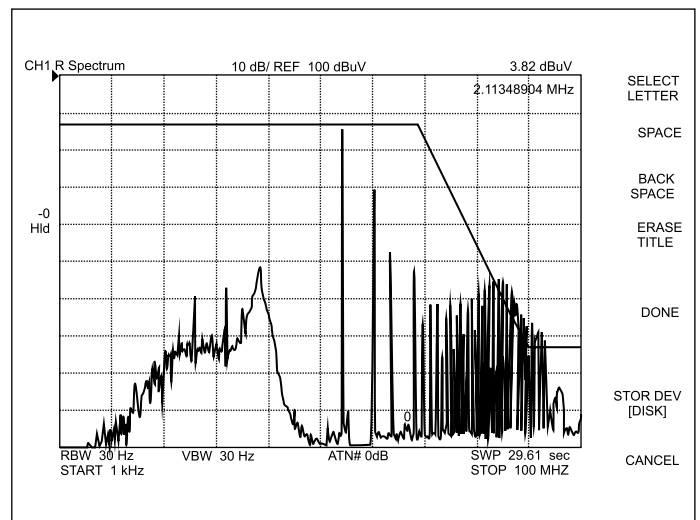


Рис. 6. Спектрограмма на выходе одноканального DC/DC-преобразователя ANP27005S

рабочих режимов, гарантируя, что все компоненты DC/DC-преобразователя функционируют в режимах значительно ниже их допустимых пределов нагрузки. Для получения количественных показателей надежности модули серии АНР подвергались испытаниям на долговечность в течение 1000 часов (Group C Life Test). Среднее время наработки до отказа (Mean Time Between Failure, MTBF) одноканальных модулей серии АНР270XXS, рассчитанное по военному справочнику MIL-HDBK-217F2 для температуры +40 °С, для аппаратуры сверхзвуковых самолетов, размещаемой в носовой части фюзеляжа, включая кабину экипажа (AIF), составляет 300 000 часов.

Образцы модулей испытывались при циклическом воздействии смены температур: для испытаний было установлено 10 циклов быстрой смены верхнего и нижнего значений температур в диапазоне от -65 до +150 °С, причем время переноса изделий из камеры тепла в камеру холода и обратно не превышало 1 минуты. Термоциклирование является одним из самых жестких видов климатических испытаний и позволяет выявить скрытые конструктивные дефекты и дефекты в технологии, допущенные при изготовлении изделий.

Конструктивно преобразователи выполнены в герметичных корпусах с использованием выводов с медной сердцевинкой и уплотнением прочной керамикой для минимизации потерь проводимости на постоянном токе. С целью проверки способности модулей выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах значений, указанных в спецификациях, проводились испытания на виброустойчивость при 50%-ной нагрузке и входном напряжении 265 ± 5 В в соответствии с Method 2026 Random Vibration стандарта MIL-STD-883, Test Condition II, letter E, в течение 14 часов по трем осям. То есть испытания проводились на воздействие широкополосной случайной вибрации, так как в реальных условиях эксплуатации на изделие воздействуют не одночастотные синусоидальные колебания, а колебания со сложным спектром частот. Спектральная плотность ускорения составляла $0,2 \text{ Гц}^{-1}$, а максимальный уровень среднеквадратического значения ускорения был равен $18,7 \text{ g}$. Устройства подвергались воздействию вибрации в течение 6 дней, на каждую ось затрачивалось 2 дня [8].

Отвод тепла

Благодаря объединению многих передовых технологических концепций преобразователи серии АНР способны обеспечивать весьма высокую мощность при небольшом объеме корпуса. Высокое значение удельной мощности может быть достигнуто за счет высокого КПД схемы с эффективными методами отвода тепла от переходов полупро-

водниковых кристаллов: при работе с максимальными нагрузками будет генерироваться значительное количества тепла, и это тепло должно быть удалено от корпуса. Для поддержания температуры корпуса при максимальной температуре +125 °С или ниже это тепло должно передаваться на подходящий внешний теплоотвод, находящийся в тесном контакте с основанием корпуса преобразователя.

Так как эффективность кондуктивного теплоотвода зависит от плотности соединения границы раздела теплоотводящей поверхности корпуса (основания) и теплоотвода, настоятельно рекомендуется, чтобы между основанием корпуса и радиатором находился наполнитель (среда) с очень высокой тепловой проводимостью. Наиболее часто для всех испытаний и при электротренировке использовался электроизолирующий теплопроводящий материал Sil-Pad 400 компании Bergquist. Материалы семейства Sil-Pad предназначены для замены теплопроводящих паст и керамических прокладок. Применение этого материала обеспечивает максимальную поверхность контакта с радиатором, таким образом компенсируются незначительные неровности микрорельефа поверхностей [9].

В справочных листах модулей серии АНР приводится метод теплового расчета, и в качестве примера дан тепловой расчет для температуры корпуса $\leq +85$ °С при установке модуля в объеме, где температура окружающей среды поддерживается постоянной на уровне +25 °С. При полной нагрузке и значении КПД 83% (наихудший случай для модуля АНР27015S) в модуле рассеивается тепловая мощность 24,6 Вт, для этого требуется теплоотвод с полной площадью 458 см². Таким образом, этот теплоотвод будет ограничивать температуру корпуса на +60 °С выше температуры окружающей среды. Плоская алюминиевая пластина толщиной 6,35 мм (0,25") и размерами 101,6×228,6 мм (4"×9", площадь — 23 226 мм² каждой стороны) будет достаточной для этого применения, учитывая отсутствие движения воздуха в окружающей среде. Необходимо отметить, что для соответствия условию этого примера обе стороны пластины требуют неограниченного контакта с окружающим воздухом. Площадь конвекционного радиатора значительно превышает площадь основания корпуса модуля в исполнении Case X (2903 мм²). В качестве теплоотвода для модулей питания серии АНР, снабженных специальным теплоотводящим основанием и фланцами, может служить стенка корпуса аппаратуры, обеспечивающая кондуктивный отвод тепла от модуля на массивные, теплоемкие конструктивные элементы системы. То есть не нужно применять теплоотводящий радиатор, который пришлось бы устанавливать в аппаратуре, что привело бы к снижению удельной мощности системы в целом.

Заключение

В перспективе в гражданской и военной авиации все большее распространение будут находить электронные и электрические подсистемы, заменяющие пневматические, гидравлические и механические подсистемы. При этом для значительного уменьшения массы и объема оборудования используются электросистемы постоянного повышенного напряжения 270 В с транзисторными преобразователями всех видов. Обеспечение долговременной надежности находится в центре внимания при проведении усовершенствований. Даже если эти электронные подсистемы являются по сути надежными, они в большой степени зависят от стабильности и надежности источника напряжения постоянного тока. Именно в этом случае DC/DC-преобразователи исполняют свою роль «молчаливого труженика» в наборе функциональных узлов и устройств, из которых формируется типичная система вторичного электропитания. Благодаря высочайшему качеству и надежности модули DC/DC-преобразователей серии АНР применяются в системах электропитания с постоянным напряжением 270 В истребителей пятого поколения F-22 "Raptor", F-35 "Lightning II", пассажирских самолетов компании Boeing. Используются эти модули и в России.

Литература

1. Конев Ю. И., Гулякович Г. Н., Полянин К. П. и др. Микроэлектронные электросистемы. Применения в радиоэлектронике. М.: Радио и связь, 1987.
2. Бономорский П. О. Тенденции и достижения в повышении удельной мощности преобразования ИВЭП военного назначения // Электропитание: научно-технический сборник. 2005. Вып. 5.
3. Сержанов Ю. В. Проблемы и перспективы гибридной технологии. Опыт разработки унифицированных модулей электропитания // Электропитание: научно-технический сборник. 2005. Вып. 5.
4. Ридли Р. Советы по управлению затвором мощного полевого транзистора // Компоненты и технологии. 2008. № 8.
5. Гончаров А. Ю. Практика применения конвертерных модулей класса DC/DC // Электронные компоненты. 1999. № 3.
6. PD-97181C. Hybrid-High Reliability DC/DC Converter AHP270XXS Series 270V Input, Single Output: Data Sheet. International Rectifier. Jan. 2007.
7. PD-97182A. Hybrid-High Reliability DC/DC Converter AHP270XXD Series 270V Input, Dual Output: Data Sheet. International Rectifier. Dec. 2006.
8. Abhijit D. Pathak. DC/DC Converters Meets Most Demanding Applications // Power Electronics Europe. Oct./Nov. 2010. Issue 7.
9. Шахнович И. Эластичные изолирующие теплопроводные материалы // Компоненты и технологии. 2001. № 7.