

# Гибридно-пленочные DC/DC-преобразователи напряжения для применения в аппаратуре специального назначения

Виктор ЖДАНКИН

**В статье представлены технические характеристики гибридно-пленочных DC/DC-преобразователей и модулей фильтрации электромагнитных помех от компании ECRI Microelectronics (Китай), предназначенные для применения в аппаратуре специального назначения, электрические параметры, массогабаритные характеристики и расположение выводов которых идентичны продукции известных компаний США. Замена изделий американских производителей взаимозаменяемыми изделиями компании ECRIM в серийной аппаратуре позволит сократить временные и финансовые затраты за счет уменьшения объема усилий по переработке конструкции и проведению комплекса проверочных испытаний.**

В феврале 2022 г. США и страны ЕС ввели санкции против Российской Федерации. Из-за них были приостановлены поставки импортных комплектующих и оборудования, необходимого для производства изделий специального назначения некоторых видов.

Так, значительная часть необходимых для ракетно-космической, авиационной и других отраслей оборонной промышленности гибридно-пленочных модулей DC/DC-преобразователей поставлялась американскими компаниями International Rectifier HiRel, Modular Devices, Inc. (MDI), VPT, Crane Aerospace & Electronics (торговая марка Interpoint) [1]. Многие серии преобразователей напряжения и модули фильтрации электромагнитных помех, предлагаемые этими компаниями, унифицированы между собой по электрическим характеристикам, размерам корпусов, расположению выводов и функциональному назначению и могут без особых затрат заменяться в случае проблем с получением этой продукции от какой-либо из указанных компаний.

Российскими предприятиями разработаны Радиационно стойкие преобразователи напряжения, которые полностью взаимозаменяемы с преобразователями некоторых серий категории качества Space перечисленных американских компаний.

Несколько отечественных компаний выпускают преобразователи напряжения для эксплуатации в аппаратуре специального назначения, которые являются функциональ-

ми аналогами зарубежных изделий уровня качества Military, но не совместимы с ними конструктивно (по размерам корпусов и расположению выводов). Замена импортных модулей преобразователей напряжения модулями отечественного производства в существующей аппаратуре потребует полной конструктивной модернизации изготавливаемого оборудования с последующим повторением комплекса проверочных испытаний и больших финансовых и временных затрат. Для частичного сокращения затрат при замене импортных модулей в изготавливаемой аппаратуре предлагается рассмотреть возможность применения гибридно-пленочных DC/DC-преобразователей напряжения компании ECRI Microelectronics (East China Research Institute of Microelectronics), входящей в Китайскую корпорацию электронных технологий (China Electronics Technology Group Corporation, CETC), которые конструктивно и функционально совместимы с некоторыми сериями преобразователей напряжения и фильтров электромагнитных помех американских компаний. Продукция этой компании поставляется в Россию без оформления специального разрешения. Заметим, что изготавливается продукция в сравнительно короткие сроки — 4–5 месяцев.

ECRI Microelectronics (Научно-исследовательский институт микроэлектронной техники) разрабатывает и производит широкий ряд радиационно-стойких DC/DC-преобразователей и помехоподавляющих

фильтров для систем электроснабжения космических аппаратов с промежуточным напряжением 28, 42, 50 и 100 В, Радиационно стойкие преобразователи напряжения типа PoL (Point-of-Load) для локального преобразования напряжения, стабилизаторы напряжения с малым падением напряжения (LDO-стабилизаторы), стандартные герметизированные модули преобразователей напряжения для работы от входных сетей постоянного напряжения 24, 48, 300 В с выходными мощностями 1,6–400 Вт. Радиационно стойкие DC/DC-преобразователи, предлагаемые компанией ECRIM для систем электропитания космических аппаратов с постоянным повышенным напряжением 100 В, представлены в [2–3]. Основные технические и эксплуатационные характеристики радиационно-стойких модулей DC/DC-преобразователей для бортовой питающей сети с номинальным напряжением 28(27) В и 42 В рассмотрены в [4–5]. Радиационно стойкие неизолированные преобразователи напряжения с низкими значениями выходных напряжений для размещения в непосредственной близости к микросхемам и микросборкам, работающие при повышенных токах нагрузки, рассмотрены в [6].

Предприятие также является ведущим изготовителем металлических корпусов для герметичной упаковки гибридных интегральных схем, полупроводниковых интегральных схем, волоконно-оптоэлектронных приборов, датчиков давления, твердотельных реле, приемников инфракрасного излу-



Рис. 1. Внешний вид модулей DC/DC-преобразователей от компании ECRI Microelectronics

ния, лазерных приборов и других устройств. Металлокерамические корпуса производятся из НТСС- и ЛТСС-керамики.

Выпускаются также прецизионные цифровые синхронные преобразователи сигналов с датчиков положения, мощные генераторы, микросхемы управления трехфазными приводами, усилители мощности с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), прецизионные АЦП и ЦАП.

Далее будут представлены гибридно-пленочные DC/DC-преобразователи напряжения и модули фильтров ЭМП без специфицированных показателей радиационной стойкости, предназначенные для аппаратуры специального назначения наземного и морского базирования, авиационной и ракетной техники. Конструктивно и функционально модули являются взаимозаменяемыми с модулями электропитания зарубежных компаний.

Рассматриваемые модули DC/DC-преобразователей представляют собой дальнейшее развитие разработанных и выпускаемых ранее изделий подобного класса, представленных в [7]. Особенностью некоторых новых моделей является способность работать в расширенном диапазоне входного напряжения 12(15)...50 В, а также устойчивость к выбросам напряжения до 80 В и длительностью 1 с. Применение современных более эффективных силовых транзисторов и диодов, монтаж пассивных и активных компонентов на керамической плате при помощи электропроводящей клеевой композиции

позволило повысить КПД и уменьшить массу преобразователей напряжения.

Известно, что технология гибридных интегральных схем обеспечивает высокую плотность упаковки компонентов в бескорпусном исполнении, максимальную согласованность температурных коэффициентов расширения всех узлов сборки, минимальное сопротивление теплопередачи от всех нагруженных элементов конструкции к поверхности теплоотвода. Высокую степень герметичности изделия обеспечивает соединение крышки с корпусом пайкой оплавлением по технологии шовно-роликовой сварки.

Заметим, что развитие технологии многослойных печатных плат, производства плоских электромагнитных компонентов (трансформаторов и дросселей), разработка новых технологий изготовления интегральных схем силовой электроники, выпуск силовых диодов и транзисторов в миниатюрных корпусах, использование чип-конденсаторов с повышенными удельными емкостями создают возможность обеспечить высокую энергетическую плотность и надежность без использования гибридной технологии. По этой причине в последние годы гибридно-пленочные DC/DC-преобразователи пользуются ограниченным спросом для применения в аппаратуре специального назначения.

В настоящее время компания ECRIM выпускает шесть серий гибридно-пленочных модулей преобразователей напряжения уровня качества Military (Class H) с выходными мощностями 1–120 В для работы от вход-

ной сети постоянного напряжения 28(27) В. Одно-, двух- и трехканальные модули обеспечивают стабилизированные постоянные напряжения 3,3; 5; 5,2; 6,3; 8; 9,5; 12; 15; 18; 28  $\pm 5$ ;  $\pm 12$ ;  $\pm 15$ ;  $+5/\pm 12$ ;  $+5/\pm 15$  В. Внешний вид конструкций выпускаемых преобразователей напряжения показан на рис. 1.

Преобразователи выпускаются в соответствии с требованиями национального стандарта КНП GJB2438A-2002 General Specification for Hybrid Integrated Circuits, который соответствует американскому стандарту MIL-PRF-38534. Все проверки и отбраковочные процедуры осуществляются согласно требованиям стандарта CJB 548 (соответствует американскому стандарту MIL-STD-883 Test Method and Procedures for Microelectronics Devices), как это определено техническими условиями CJB2438A-2002. Осуществляется входной контроль кристаллов микросхем и полупроводниковых компонентов, пассивных компонентов, которые предназначены для изготовления продукции уровня качества Military: проводится проверка электрических параметров, визуальный внешний и внутренний контроль, электротермотренировка, термоциклирование. Проводится контроль подтверждения соответствия (Quality Conformance Inspection, QCI) по группам A, B, C, D — дополнительные испытания и проверки, которым подвергаются образцы партий изготовленных изделий. Процедуры разработаны и проводятся с целью подтвердить достоверность и гарантировать наивысший уровень качества гибридной конструкции в со-

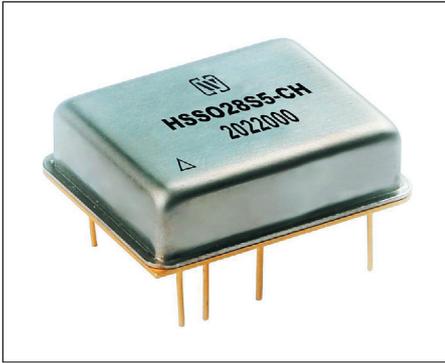


Рис. 2. Внешний вид модуля серии HSSO28 с вертикальным расположением выводов

ответствии с требованиями CJB2438A-2002. Осуществляется термоциклирование, испытание на центрифуге (постоянное ускорение), электротермотренировка, контроль по электрическим параметрам, контроль герметичности корпуса (большие и малые течи). Периодически осуществляется контроль внутренних паров внутри корпуса (требование: содержание внутренних водяных паров не превышает 5000 ppm).

Комплект сопроводительной документации для продукции уровня качества Military включает Сертификат соответствия (Certificate of Conformance) и отчет о подтверждении соответствия параметров по группе А: проверка основных электрических параметров при температурах  $-55$ ,  $25$  и  $125$  °С.

### Серия HSSO28

DC/DC-преобразователи напряжения серии HSSO28 с выходной мощностью в диапазоне  $1$ – $1,5$  Вт (в зависимости от исполнения) имеют один или два гальванически развязанных выходных канала. Корпус преобразователя с вертикальным расположением выводов для монтажа на печатную плату имеет размеры  $25,14 \times 20,66 \times 7,38$  мм, вес:  $11$  г. Внешний вид DC/DC-преобразователя напряжения серии HSSO показан на рис. 2.

Модули серии HSSO работают в диапазоне входного напряжения  $12$ – $50$  В. Основные технические характеристики преобразователей напряжения серии HSSO приведены в табл. 1.

Схематически модули выполнены по обратноходовой топологии, так как для ее реализации требуется наименьшее количество компонентов. Для регулирования выходного напряжения применяется обратная связь по напряжению и дополнительная обратная связь по току дросселя. Структурная схема двухканального преобразователя HSSO28D представлена на рис. 3.

Выходное напряжение передается на схему сравнения с опорным сигналом; сигнал ошибки усиливается и поступает на схему управления (широотно-импульсный модулятор), который формирует импульсы управления ключевым регулирующим элементом

Таблица 1. Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии HSSO28

Модель	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки (макс.), А	Мощность (макс.), Вт	КПД (мин.), %	Емкость в нагрузке (макс.), мкФ	Пульсации выходного напряжения (пик-пик), мВ
HSSO28S3R3	$3,3 \text{ В} \pm 1\%$	0,3	1	69	500	50
HSSO28S5	$5 \text{ В} \pm 1\%$	0,3	1,5	72	500	50
HSSO28S12	$12 \text{ В} \pm 1\%$	0,125	1,5	75	200	50
HSSO28S15	$15 \text{ В} \pm 1\%$	0,1	1,5	76	200	50
HSSO28D5	$\pm 5 \text{ В} \pm 1\%$	0,15	1,5	72	500, по каждому каналу	50
HSSO28D15	$\pm 15 \text{ В} \pm 1\%$	0,05	1,5	73	200, по каждому каналу	50

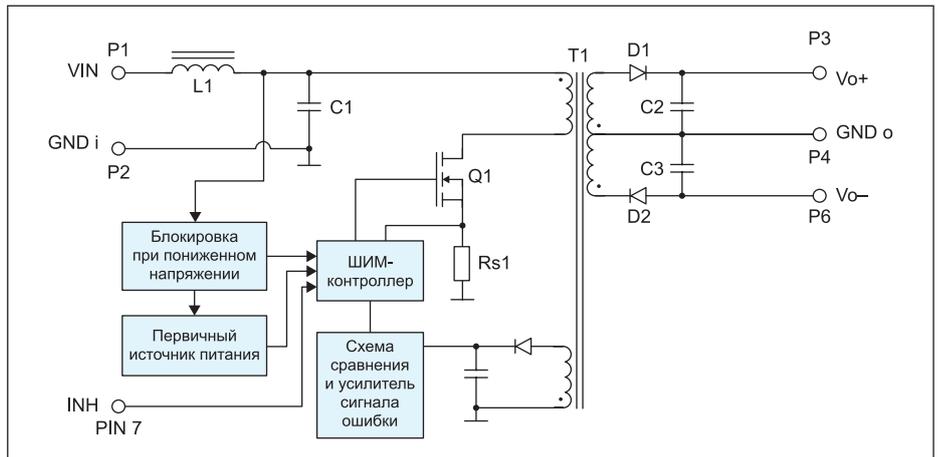


Рис. 3. Упрощенная структурная схема двухканального преобразователя серии HSSO

стабилизатора (транзистор MOSFET) — изменяется длительность открытого состояния транзистора и паузы. Для регулирования выходного напряжения применяется ШИМ с фиксированной частотой преобразования ( $325$ – $475$  кГц), то есть с постоянным периодом коммутации энергии.

Схема блокировки выключает преобразователь при уменьшении входного напряжения ниже уровня  $12$  В.

Первичный источник питания осуществляет питание схемы управления при включении модуля преобразователя напряжения. Для управления включением с помощью маломощного логического сигнала предназначен вывод управления INH. На рис. 4 показана схема подключения внешнего сигнала включения к преобразователю серии HSSO через транзисторную оптопару.

Защита от короткого замыкания осуществляется ограничением тока. Для подавления помех до допустимых уровней на входных и выходных выводах преобразователей установлены LC-фильтры. Чтобы выполнить более строгие требования по помехам на входных цепях, необходимо установить модуль фильтра HSFSA28-461 (коэффициент ослабления помех  $40$  дБ на частоте  $500$  кГц) или HPSA28-461 (коэффициент ослабления помех  $55$  дБ), которые обеспечивают уровень кондуктивных помех на подводящих проводах в соответствии с требованиями стандарта GJB151B-2013 (соответствует стандарту MIL-STD-461), тест CE102. Применение рекомендуемых производителем дополнитель-

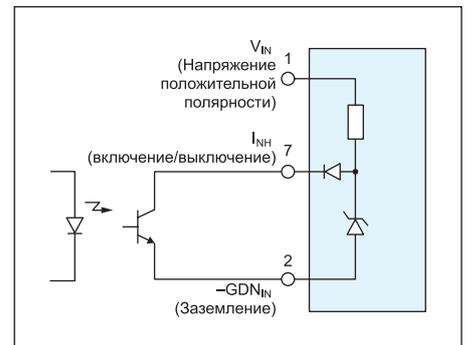


Рис. 4. Схема подключения внешнего сигнала включения/выключения к преобразователю серии HSSO

ных фильтров обеспечивает устойчивую работу системы «входной фильтр — преобразователь» во всем диапазоне входного напряжения и допустимых нагрузок.

Численные показатели надежности — среднее время наработки до отказа (Mean Time Between Failure) — представлены в виде графика зависимости MTBF, рассчитанного для применения в стационарном наземном оборудовании в диапазоне  $25$ – $115$  °С. Расчет выполнен по справочнику GJBZ 299C-2006, график зависимости значения MTBF от температуры показан на рис. 5.

По запросу производитель может предоставить значения MTBF, рассчитанные для других условий применения и конкретной температуры — возимое, переносное или портативное наземное оборудование, обо-

рудование отсеков для экипажей самолетов, приборные отсеки самолетов, оборудование ступеней выведения спутников на орбиту, ракеты и др. Заметим, что допустимая величина рабочей температуры не должна быть превышена, так как надежность преобразователя обратно пропорциональна его рабочей температуре. Интенсивность отказов преобразователя удваивается с увеличением рабочей температуры на каждые 15 °С.

Для анализа температурных режимов работы преобразователя следует учитывать, что КПД зависит от номинальной выходной мощности модуля, от входного и выходного напряжений модуля, температуры корпуса модуля, коэффициента загрузки по мощности. На рис. 6 показан график зависимости КПД от выходной мощности для разных значений входного напряжения преобразователя HSSO28S15. Рекомендуется, чтобы минимальная нагрузка составляла не менее 10% от номинальной нагрузки, так как при пониженной мощности КПД уменьшается, что приводит к увеличению мощности потерь.

Преобразователи серии HSSO можно применять для замены преобразователей серии MCH (Interpoint), DVCH (VPT), ACH (International Rectifier). Электрические параметры, массогабаритные характеристики, расположение выводов и их функциональное назначение преобразователей серии HSSO идентичны преобразователям указанных серий.

**Серия HSSA28**

Одно- и двухканальные модули преобразователей напряжения серии HSSA с выходной мощностью 4–6 Вт выполнены в корпусах с вертикальным расположением выводов для монтажа на печатную плату. Габаритные размеры модулей: 27,73×27,73×7,36 (макс.) мм, масса: 19 г; 39,5×27,73×7,36 мм, масса: 24 г (исполнение с крепежными фланцами). Внешний вид модуля преобразователя напряжения серии HSSA без крепежных фланцев показан на рис. 7.

Преобразователи выполнены по однотактной обратнотокходовой топологии. Упрощенная структурная схема двухканального модуля серии HSSA показана на рис. 8.



Рис. 7. Внешний вид модуля преобразователя напряжения серии HSSA без монтажных фланцев

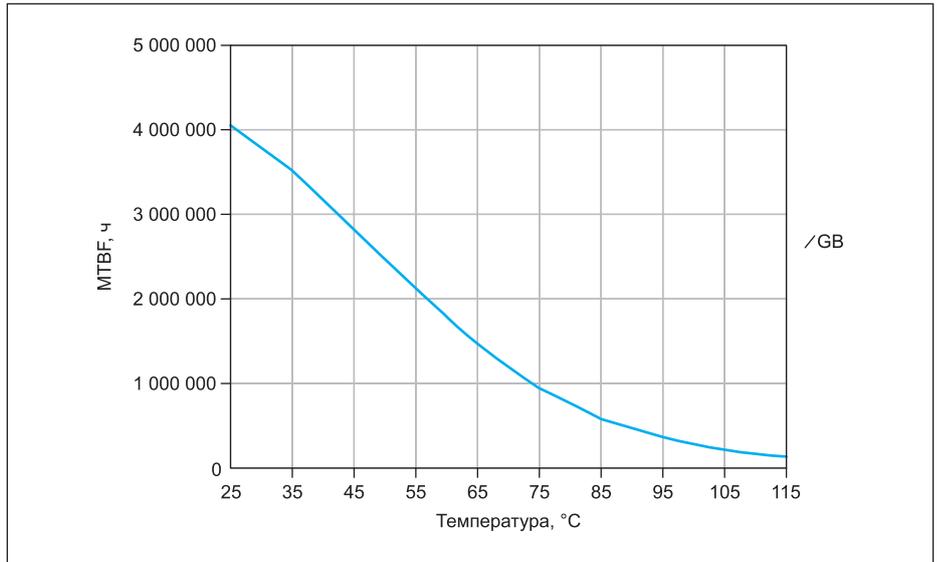


Рис. 5. График зависимости MTBF от температуры для условий применения в стационарном наземном оборудовании для одноканального преобразователя HSSO28S15

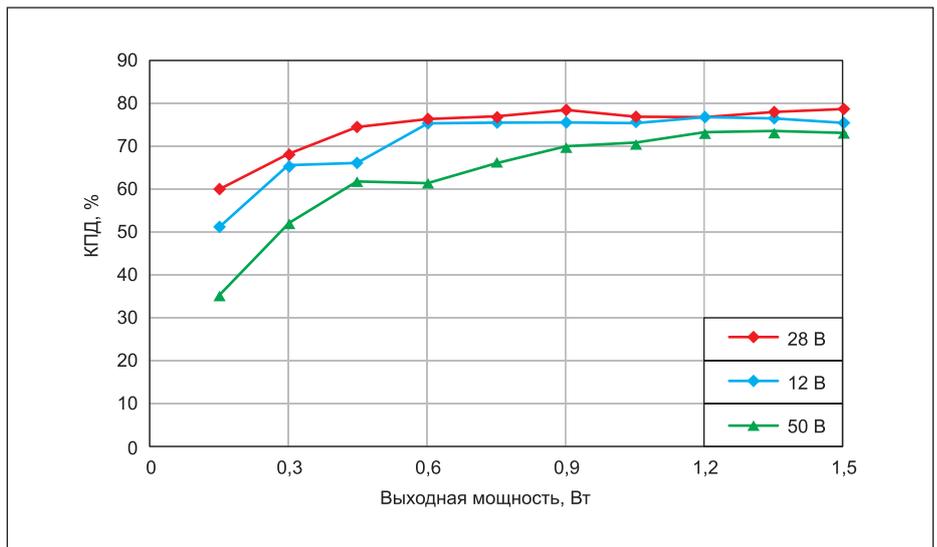


Рис. 6. Зависимости КПД от выходной мощности при различных входных напряжениях для модуля HSSO28S15

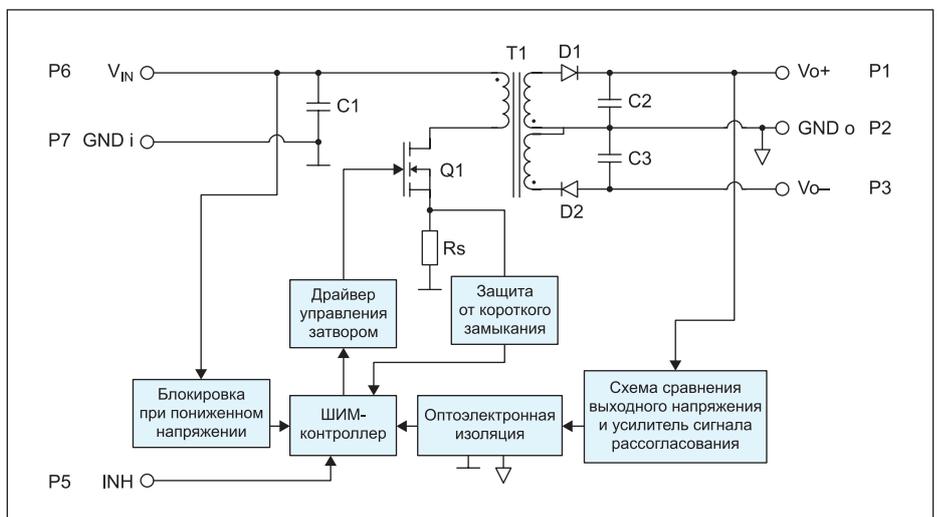


Рис. 8. Структурная схема двухканального преобразователя HSSA28D

Таблица 2. Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии HSSA28

Модель	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки (макс.), А	Мощность (макс.), Вт	КПД (мин.), %	Емкость в нагрузке (макс.), мкФ	Пulsация выходного напряжения (пик-пик), мВ
HSSA28S3R3	3,3 В ±1%	1,21	4	62	1000	50
HSSA28S5	5 В ±1%	1	5	65	1000	50
HSSA28S5R2	5,2 В ±1%	1	5,2	65	1000	50
HSSA28S12	12 В ±1%	0,5	6	65	500	50
HSSA28S15	15 В ±1%	0,4	6	65	500	50
HSSA28D5	±5 В ±1%	0,5	5	66	500, по каждому каналу	50
HSSA28D12	±12 В ±1%	0,25	6	72	500, по каждому каналу	50
HSSA28D15	±15 В ±1%	0,2	6	73	500, по каждому каналу	50

Для регулирования выходного напряжения применяется метод широтно-импульсной модуляции с постоянной рабочей частотой 350–500 кГц и обратной связью по напряжению, а также контур дополнительной обратной связи по току дросселя. Внутренний контур регулирования используется для прямого регулирования амплитуды тока дросселя посредством сигнала ошибки, а основной контур служит для стабилизации выходного напряжения. Применение дополнительной обратной связи по току дросселя улучшает разные характеристики, например мгновенную коррекцию режима работы источника питания при произвольных изменениях входного напряжения без использования динамического диапазона усилителя сигнала ошибки.

Гальваническая развязка в контуре обратной связи осуществляется транзисторным оптроном. Для обеспечения надежной работы оптронов в течение многих лет предпринимается ряд мер по увеличению срока службы оптронов и тщательный отбор. Прежде всего, для ожидаемого ухудшения коэффициента передачи по току осуществляется управление током светодиода: уменьшается

рабочий ток диода и мощность, рассеиваемая светодиодом, при переходных процессах ограничиваются пиковые токи через светодиод, а его рабочий цикл регулируется таким образом, чтобы поддерживать средний ток на низком уровне. Надежность оптрона также повышается за счет приработки в виде электротермотренировки.

Схема блокировки при пониженном напряжении не позволяет включиться модулю при напряжении входной сети ниже нормального значения (12 В) и выключает модуль при снижении входного напряжения до 11 В при полной нагрузке. Драйвер в цепи затвора MOSFET обеспечивает быстрое включение транзистора.

Основные технические характеристики модулей серии HSSA28 представлены в табл. 2. Модули серии HSSA28 взаимозаменяемы с модулями серии DVSA28 (VPT) и MSA28 (Interpoint).

### Серия HSDF28

DC/DC-преобразователи серии HSDF28 обеспечивают мощность до 20 Вт с КПД преобразования напряжения до 79%. Модули предназначены для работы в систе-

мах электропитания с напряжением сети 28(27) В с изменением в широком диапазоне 15–50 В и устойчивы к выбросам напряжения с амплитудой 50 В и длительностью 1 с. Предлагаются модели с одним, двумя и тремя выходными каналами. Общие технические характеристик преобразователей представлены в табл. 3. Внешний вид конструкции корпуса DC/DC-преобразователя серии HSDF28 без монтажных фланцев показан на рис. 9. Габаритные размеры модулей без монтажных фланцев: 37,33×28,94×8,9 мм (макс.), масса: не более 31 г. Габаритные размеры модулей с монтажными фланцами: 51,3×28,94×8,9 мм (макс.); масса: 34 г.

Преобразователи напряжения выполнены на основе обратнотоположной топологии, которая является наиболее популярной для мало-мощных приложений благодаря простоте схемы и конструкции. Для управления используются две цепи управления: внутренняя токовая и внешняя, регулирующая выходное напряжение. Регулирование выходного напряжения осуществляется широтно-импульсной модуляцией с фиксированной частотой (250–350 кГц). Схема ШИМ-модулятора формирует импульсы управления ключевым регулирующим MOSFET.

Для ограничения пульсаций выходного напряжения используются LC-фильтры. На входе установлен однозвенный LC-фильтр для фильтрации пульсаций входного напряжения и уменьшения амплитуды напряжения помех, генерируемых преобразователем. Для дополнительного подавления помех на входе рекомендуется использовать модуль фильтра HSFA28-461 с коэффициентом ослабления помех 40 дБ на частоте 500 кГц.

Структурная схема трехканального преобразователя напряжения HSDF28T показана на рис. 10. Для управления выходным напряжением основного канала и двух дополнительных каналов используются два отдельных каскада, что обеспечивает напряжения с хорошими показателями стабильности по току и напряжению.

Сигнал рассогласования передается в ШИМ-контроллер через узел гальванической развязки, выполненный на транзисторной оптопаре.



Рис. 9. Внешний вид модуля серии HSDF28 без монтажных фланцев

Таблица 3. Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии HSDF28

Модель	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки (макс.), А	Мощность (макс.), Вт	КПД (мин.), %	Емкость в нагрузке (макс.), мкФ	Пulsация выходного напряжения (пик-пик), мВ
HSDF28S3R3	3,3 В ±1%	3	10	65	1000	40
HSDF28S5	5 В ±1%	3	15	72	1000	40
HSDF28S5R2	5,2 В ±1%	3	15,6	72	1000	40
HSDF28S5R7	5,7 В ±1%	2,63	15	72	1000	40
HSDF28S8	8 В ±1%	2,5	20	76	500	40
HSDF28S12	12 В ±1%	1,67	20	77	500	40
HSDF28S15	15 В ±1%	1,33	20	78	500	50
HSDF28S18	18 В ±1%	1,11	20	78	500	50
HSDF28S28	28 В ±1%	0,714	20	77	250	150
HSDF28D5	±5 В ±1%	1,5	15	73	500 по каждому каналу	60
HSDF28D12	±12 В ±1%	0,833	20	78	500 по каждому каналу	50
HSDF28D15	±15 В ±1%	0,666	20	79	500 по каждому каналу	60
HSDF28T512	+5/±12 В	1,5 (основной канал); 0,313 по каждому дополнительному каналу	15	72	500 по каждому каналу	50 на основном канале; 100 на каждом дополнительном канале
HSDF28T515	+5/±15 В	1,5 (основной канал); 0,25 по каждому дополнительному каналу	15	72	500 по каждому каналу	60 на основном канале; 80 на каждом дополнительном канале

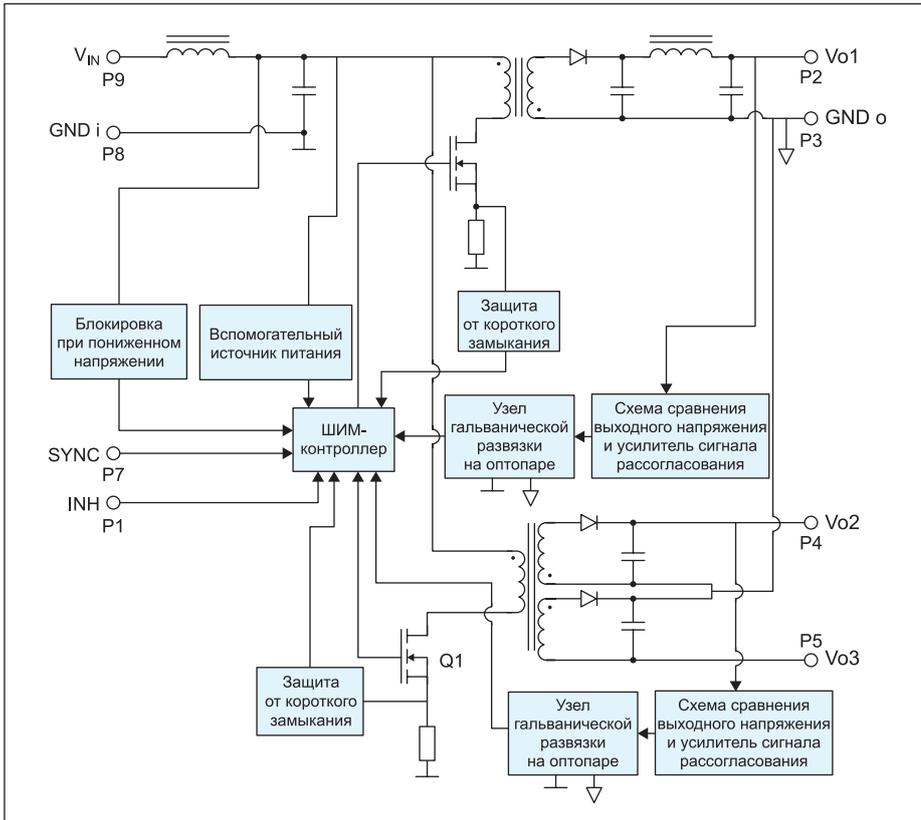


Рис. 10. Структурная схема трехканального DC/DC-преобразователя HSF28T

DC/DC-преобразователи серии HSDF оснащены следующими сервисными функциями:

- защита от пониженного входного напряжения и короткого замыкания;
- дистанционное включение/выключение маломощным сигналом;
- синхронизация частоты преобразования внешним сигналом синхронизации (только у трехканальных моделей).

Массогабаритные характеристики, расположение выводов и их функциональное назначение модулей преобразователей напряжения серии HSFD28 идентичны модулям серий DVHF28 (VPT) и MHF28 (Interpoint). При замене модулей серии MHF+ (Interpoint) следует обратить внимание, что одно- и двухканальные модули серии HSFD28 не имеют функции синхронизации внешним синхросигналом.

## Серия HSTR28

DC/DC-преобразователи серии HSTR28 выполнены по обратноточковой топологии, одним из преимуществ которой является простота реализации нескольких выходных напряжений с разной полярностью. В состав серии HSTR28 входят модели с одним, двумя и тремя выходными каналами с рабочей частотой преобразования 400–550 кГц. Структурная схема преобразователей серии HSTR28 аналогична схеме преобразователей серии HSDF28 и содержит те же узлы: вспомогательный источник питания для питания ШИМ-контроллера,

блокировку при пониженном напряжении, ШИМ-контроллер, защиту от короткого замыкания, схему сравнения и оптическую развязку в контуре петли обратной связи.

Сервисные функции модулей серии HSDF28: защита от пониженного входного напряжения, перенапряжения на выходе, короткого замыкания, вход дистанционного включения/выключения маломощным ключом, синхронизация частоты внешним сигналом синхронизации, выносная обратная

связь для стабилизации выходного напряжения на удаленной нагрузке (у одноканальных моделей) и возможность регулировки выходного напряжения потенциометром (у одноканальных моделей).

Номенклатура и основные характеристики серии HSTR28 представлены в табл. 4. Модули предназначены для работы от сети постоянного напряжения в диапазоне 15–50 В и устойчивы к воздействию импульсов напряжения с амплитудой 80 В длительностью 1 с. Для дополнительного подавления помех во входных цепях преобразователей рекомендуется устанавливать фильтр HCFC28-461 с коэффициентом ослабления помех 40 дБ на частоте 500 кГц.

Внешний вид модуля серии HSTR28S с монтажными фланцами показан на рис. 11. Габаритные размеры одно- и двухканальных модулей без монтажных фланцев: 54,4×29×10,66 мм (макс.); масса: 47 г. Габаритные размеры модулей с монтажными фланцами: 74×29×10,66 мм; масса 55 г. Габаритные размеры трехканального модуля без монтажных фланцев: 49,53×34,29×10,29 мм; с монтажными фланцами: 69,59×34,71×10,79 мм. Электрические параметры, массогабаритные характеристики, расположение выводов и их функциональное назначение модулей серии HSTR28 идентичны параметрам модулей серии DVTR28 (VPT) и MTR28 (Interpoint). Но, заметим, что гальваническая развязка в цепи обратной связи у американских модулей осуществляется через трансформатор.

## Серия HFL28

DC/DC-преобразователи серии HFL28 выполнены по однотактной прямоходовой топологии. Для стабилизации выходного напряжения применяются два контура обратной связи: по выходному напряжению и дополнительная обратная связь по току. Управление

Таблица 4. Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии HSTR28

Модель	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки (макс.), А	Мощность (макс.), Вт	КПД (мин.), %	Емкость в нагрузке (макс.), мкФ	Пульсация выходного напряжения (пик-пик), мВ
HSTR28S3R3	3,3 В ±1,5%	6,06	20	65	1000	50
HSTR28S5	5 В ±1%	6	30	72	1000	50
HSTR28S5R2	5,2 В ±1,2%	6	31	72	1000	50
HSTR28S8	8 В ±1%	4,4	35	74	500	50
HSTR28S12	12 В ±1%	3,33	40	76	500	50
HSTR28S15	15 В ±1%	2,67	40	77	500	50
HSTR28D5	±5 В ±1%	3	30	73	500 по каждому каналу	60
HSTR28D8	±8 В ±1%	2,2	35	74	500 по каждому каналу	80
HSTR28D12	±12 В ±1%	1,67	40	78	500 по каждому каналу	50
HSTR28D15	±15 В ±1%	1,33	40	78	500 по каждому каналу	50
HSTR28T512	+5/±12 В	3 А (основной канал); 0,625 А по каждому дополнительному каналу	30	73	500 по каждому каналу	60 на основном канале; 100 на каждом дополнительном канале
HSTR28T515	+5/±15 В	3 А (основной канал); 0,5 А по каждому дополнительному каналу	30	75	500 по каждому каналу	60 на основном канале; 100 на каждом дополнительном канале

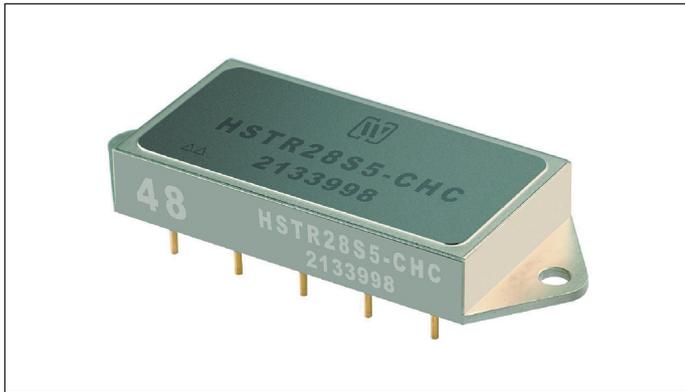


Рис. 11. Внешний вид DC/DC-преобразователя серии HSTR28 с монтажными фланцами



Рис. 12. Внешний вид корпуса преобразователя серии HFL

ключевым регулирующим элементом (транзистором MOSFET) осуществляется широтно-импульсным модулятором. Сигнал рассогласования в контуре обратной связи по напряжению передается в ШИМ-контроллер через транзисторную оптопару.

Модули доступны в исполнении с горизонтальным расположением выводов для объемного монтажа. Габаритные размеры корпуса: 76,45×38,23×10,16 мм (макс.); масса: не более 80 г. Внешний вид корпуса показан на рис. 12. Модули оснащены защитой от коротких замыканий в цепи нагрузки с длительным режимом и последующим автоматическим возвратом в режим стабилизации напряжения после устранения короткого замыкания. Командные входы дистанционного включения/выключения по параметрам согласованы с TTL с открытым коллектором не только с первичной, но и со вторичной стороны. Для обеспечения режима синхронизации имеется вход синхронизации внешним сигналом с частотой 400–600 кГц и коэффициентом заполнения 40–60%. Диапазон входного напряжения: 16–40 В.

Основные технические параметры модулей серии HFL28 представлены в табл. 5.

В технической документации указано, что модули серии HFL28 идентичны модулям серии MFL28 (Interpoint), но это справедливо только в части электрических параметров, массогабаритных характеристик, расположению выводов и частично их функциональному назначению. У модулей серии HFL28 нет функции подстройки выходного напряжения внешним потенциометром (у одноканальных моделей), входов для подключения внешней обратной связи для стабилизации выходного напряжения на удаленной нагрузке, функции формирования выходного сигнала синхронизации.

Модули серии HFL28 можно применять в качестве замены модулей серии MFL28 (Interpoint) только в тех применениях, где не требуются функции, отсутствующие у модулей серии HFL28.

Заметим, что серия HFL28 была разработана довольно давно, и ее модернизация не планируется.

Таблица 5. Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии HFL28

Модель	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки (макс.), А	Мощность (макс.), Вт	КПД (мин.), %	Емкость в нагрузке (макс.), мкФ	Пulsация выходного напряжения (пик-пик), мВ
HFL28S5-D	5В ±1%	10	50	77	1000	35
HFL28S12	12В ±1%	5	60	83	1000	75
HFL28S15	15В ±1%	4,33	65	84	1000	85
HFL28S28	28В ±1%	2,32	65	83	500	200
HFL28D5	±5В ±1%	5	50	77	500 (по каждому каналу)	50
HFL28D12	±12В ±1%	2,5	60	83	500 (по каждому каналу)	80
HFL28D15	±15В ±1%	2,17	65	84	500 (по каждому каналу)	100

### Серия HOL28

Серия HOL28 содержит одно- и двухканальные модули мощностью в диапазоне 66–120 Вт. Они предназначены для работы от сети постоянного напряжения в диапазоне 16–40 В. Модули устойчивы к воздействию импульсов напряжения с амплитудой 50 В и длительностью 1 с.

Для повышения удельной мощности модули выполнены на базе полумостового преобразователя. В двухканальных модулях выпрямитель выполнен на диодах

Шоттки, в одноканальных моделях применяется синхронный выпрямитель на основе MOSFET-транзисторов. Структурная схема одноканального преобразователя показана на рис. 13, а структурная схема двухканальной модели — на рис. 14. Известно, что синхронные выпрямители дают выигрыш в КПД по сравнению с диодными в системах с напряжением питания 5 В, и разрыв по КПД увеличивается при снижении напряжения до 3,3 и 1,5 В. Как правило, для моделей с напряжениями более 5 В применяются

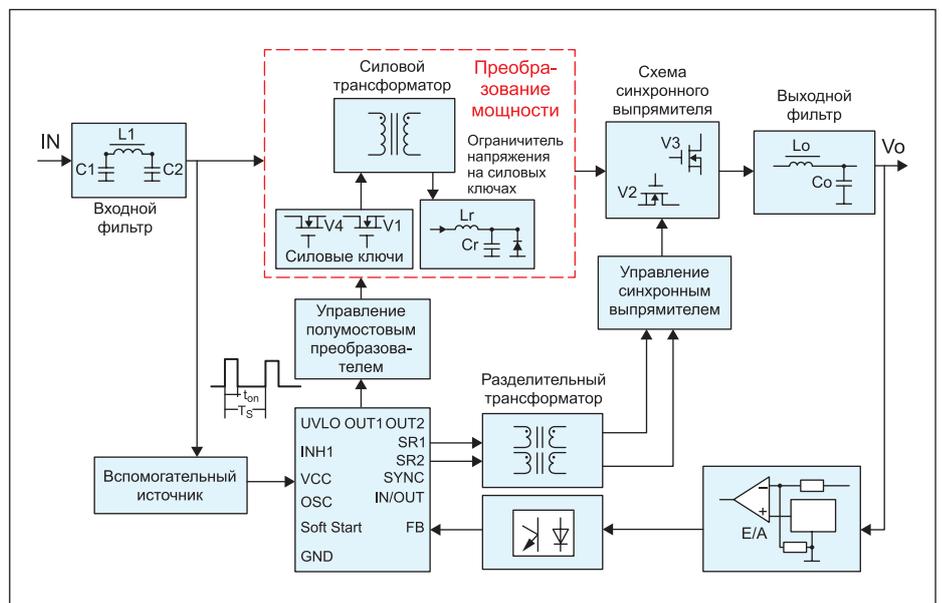


Рис. 13. Структурная схема одноканальной модели преобразователя серии HOL28 с синхронным выпрямителем

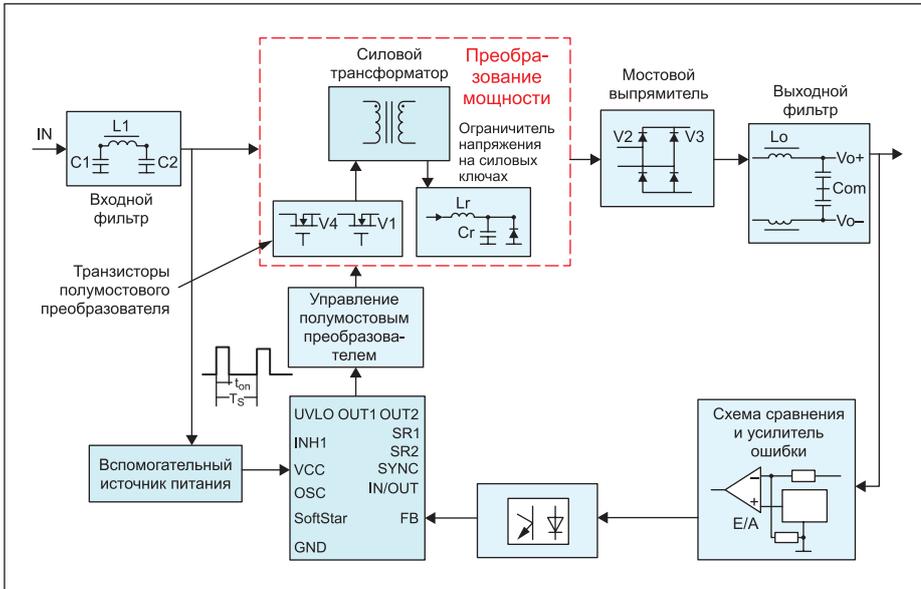


Рис. 14. Структурная схема двухканального преобразователя напряжения HOL28D на основе выпрямителей с диодами Шоттки

диодные выпрямители. Но, возможно, для унификации во всех одноканальных моделях серии HOL28S используются выпрямители на основе MOSFET. Для управления синхронным выпрямителем на основе MOSFET в модулях серии HOL28S применяются интегральные схемы. Сигналы управления транзисторами на вторичной стороне передаются с микросхемы ШИМ-контроллера через разделительные трансформаторы. Применение микросхем контроллеров, предназначенных для управления транзисторами на вторичной стороне полумостовых преобразователей, упрощает конструкцию силового трансформатора, снижает число компонентов и стоимость конечного устройства.

На рис. 15 показана зависимость КПД от нагрузки при разных входных напряжениях. При номинальном выходном токе КПД не уменьшается. Снижение КПД с повыше-

нием выходной мощности наблюдается при пониженном входном напряжении.

Гальваническая развязка в контуре обратной связи обеспечивается оптопарой: сигнал рассогласования с выхода усилителя сигнала рассогласования передается в ШИМ-контроллер через узел гальванической развязки, выполненный на транзисторной оптопаре.

Модули преобразователей напряжения выпускаются с горизонтальным расположением выводов для объемного монтажа. Габаритные размеры корпуса: 76,7×38,6×10,66 мм (макс.); масса: не более 95 г. Внешний вид модуля серии HOL28 показан на рис. 16.

Для работы в системах электропитания модули серии HOL28 имеют следующие сервисные функции:

- вход включения/выключения логическим сигналом;
- синхронизация частоты преобразования внешним синхросигналом;
- подстройка выходного напряжения потенциометром;
- выносная обратная связь (у одноканальных моделей);
- защита от пониженного входного напряжения и перенапряжения на выходе;
- защита от короткого замыкания.

Основные технические параметры модулей серии HOL28 представлены в табл. 6.

По массогабаритным характеристикам, расположению выводов и их функциональному назначению модули серии HOL28 в некоторых применениях могут заменить модули серии MOR28 (Interpoint) и DVFL2800 (VPT). Заметим, что у модулей серии HOL28 отсутствуют некоторые функции, имеющиеся у американских преобразователей. Так, модули серии MOR28 (Interpoint) оснащены выходами для равномерного распределения тока между парал-

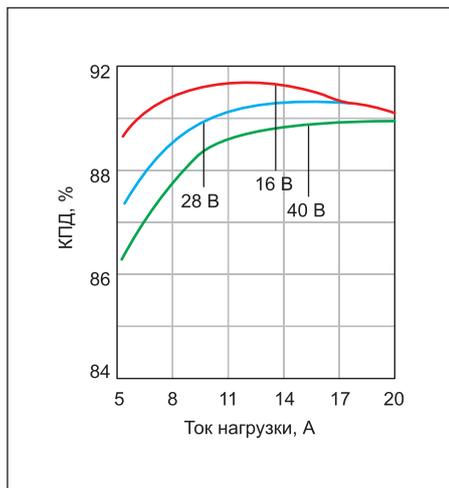


Рис. 15. Зависимость КПД от нагрузки для модуля HOL28S5-A

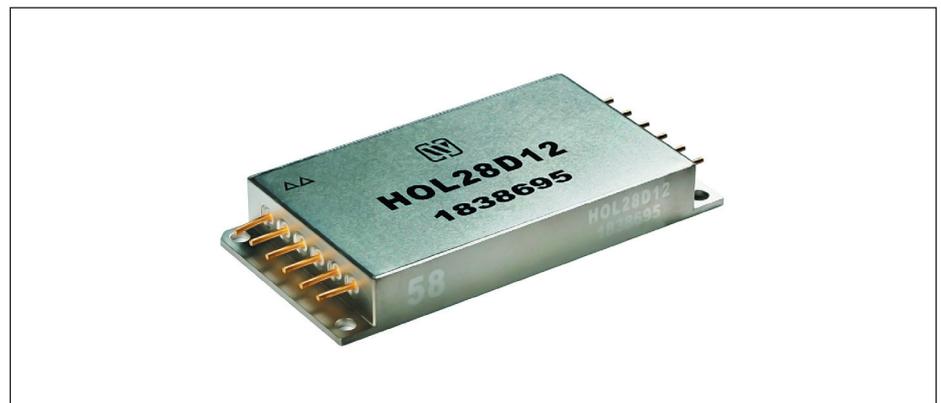


Рис. 16. Внешний вид DC/DC-преобразователя серии HOL

Таблица 6. Основные технические параметры DC/DC-преобразователей серии HOL28

Модель	Выходное напряжение, В	Ток нагрузки (макс.), А	Мощность (макс.), Вт	КПД (мин.), %	Емкость в нагрузке (макс.), мкФ	Пульсация выходного напряжения (пик-пик), мВ
HOL28S3R3	3,3 В ±1%	20	66	88	1000	80
HOL28S5-A	5 В ±1%	20	100	88	1000	80
HOL28S6R3	6,3 В ±1%	15,9	100	88	1000	80
HOL28S12	12 В ±1%	9,2	110	88	500	120
HOL28S15	15 В ±1%	8	120	86	500	150
HOL28S28-B	28 В ±1%	4,3	120	87	500	200
HOL28D5	±5 В ±1%	10	100	82	500 (по каждому каналу)	120
HOL28D12	±12 В ±1%	4,58	110	87	500 (по каждому каналу)	120
HOL28D15-B	±15 В ±1%	4	120	87	500 (по каждому каналу)	150



Рис. 17. Разнообразие конструктивных исполнений модулей фильтрации

тельно включенными преобразователями, входом для подключения сигнала управления включением/выключением со стороны вторичной цепи; кроме того, модули генерируют сигналы для синхронизации других преобразователей напряжения.

Модули питания серии MOR28 выполнены на базе однотактного прямоходового преобразователя: преобразование осуществляется одним силовым MOSFET, и гальваническая развязка в контуре обратной связи по напряжению осуществляется через трансформатор. В модулях серии HOL28 используются четыре MOSFET, что может быть ограничивающим фактором для некоторых применений.

Чтобы обеспечить дополнительное ослабление помех на входных проводниках, рекомендуется подключать модуль фильтра HFE28-461-420A с коэффициентом ослабления помех 40 дБ на частоте 500 кГц (дифференциальный режим).

Таблица 7. Основные технические параметры фильтров ЭМП

Модель	Диапазон входного напряжения, В	Проходной ток, А	Коэффициент ослабления помех на частоте 5 МГц, дБ	Сопротивление по постоянному току, Ом	Емкость между каждым выводом и корпусом, пФ	Габаритные размеры, мм
HFSFA-461	16–40	0,8	45	1,2	45 000	25,2×20,7×7,5
HFH-461	16–40	1,5	50	0,35	24 000	51×28,9×8,5
HFC-461	16–40	3,8	60	0,2	48 000	73,91×28,39×10,16
HFD28-461F	16–40	7	45	0,12	45 000	69,2×34,68×13,4
HFE28-461-420A	15–50	15	50	0,07	40 000	76,7×38,6×11

### Модули фильтрации электромагнитных помех

Для подавления электромагнитных помех, которые генерируются импульсным источником питания, на входе и выходе устанавливаются фильтры, уменьшающие помехи до уровней допустимых для многих применений. Чтобы обеспечить

соответствие более строгим требованиям стандартов по помехам, осуществляется ослабление помех дополнительными фильтрами. Самостоятельная разработка и изготовление фильтра потребует много времени и затрат. Для решения этой проблемы компания ECRIM разработала и производит модули фильтрации для широкого диапазона напряжений и входов, которые

Таблица 8. Основные технические параметры модулей фильтров ЭМП, устойчивых к воздействию импульсных напряжений с амплитудой 80 В длительностью 1 с

Модель	Диапазон входного напряжения, В	Проходной ток, А	Коэффициент ослабления помех на частоте 500 кГц, дБ	Сопротивление по постоянному току, мОм	Емкость между каждым выводом и корпусом, нФ	Габаритные размеры, мм	Масса, г
HSFSA28-461	15–50	0,8	40	280	30	25,14×20,64×7	12
HSFA28-461	15–50	1	40	200	27	24,64×20,16×7	16
HSFH28-461	15–50	2	55	250	30	36,83×28,44×8,28	29
HSFC28-461F	15–50	4	40	150	50	73,41×28,19×10,19	51 без фланцев, 55 с крепежными фланцами
HSFD28-461F	15–50	7	40	120	55	68,59×34,21×10,24	55
HSFH-0328F	15–50	3	55	200	24	50,65×28,44×8,28	29
HSFC-0528	15–50	5	55	125	48	73,41×28,19×10,19	51 без фланцев, 55 с крепежными фланцами
HSFD-0828F	15–50	8	50	100	70	69,09×34,71×10,94	

соответствуют требованиям военных стандартов к уровню кондуктивных помех на подводящих проводах в соответствии с требованиями стандарта GJB151B-2013 (согласно стандарту MIL-STD-461), тест CE102, и по восприимчивости к наведенным помехам.

Модули фильтрации устойчивы к воздействию механических и климатических факторов, регламентированных требованиями национального стандарта GJB2438A-2002 General Specification for Hybrid Integrated Circuits, который соответствует американскому стандарту MIL-PRF-38534.

Фильтры предназначены для работы в диа-пазоне температуры  $-55...125$  °С; диапазон температуры хранения:  $-65...150$  °С. Модули выполнены по толстопленочной гибридной технологии, выпускаются с горизонтальным расположением выводов для объемного монтажа и с вертикальным расположением выводов для монтажа на печатную плату с монтажными фланцами и без монтажных фланцев. Внешний вид модулей фильтров в разных исполнениях показан на рис. 17.

Выпускаются фильтры для работы в диапазоне напряжения 16–40 В (табл. 7) и 15–50 В. Они устойчивы к выбросам напряжения с амплитудой 80 В и длительностью 1 с (табл. 8). При выборе фильтра для конкретного применения следует учитывать номинальное рабочее напряжение и ток фильтра,

обеспечивающие заданную мощность. Учитываются также вносимые фильтром потери, которые можно оценить по заданным сопротивлению по постоянному току и максимальному падению напряжения. Кроме того, принимаются во внимание рекомендации производителя по применению фильтров.

Электрические параметры, массогабаритные характеристики, расположение выводов и их функциональное назначение фильтров идентичны модулям фильтрации известных американских компаний VPT и Interpoint.

## Выводы

Представленные DC/DC-преобразователи и модули фильтрации ЭМП соответствуют жестким требованиям военных стандартов к воздействию механических и климатических факторов, оснащены необходимым для многих применений функционалом. Электрические параметры, массогабаритные характеристики, расположение выводов и часто их функциональное назначение идентичны изделиям известных американских компаний, продукция которых широко применялась в аппаратуре специального назначения, выпускаемой российскими предприятиями. Замена изделий американского производства продукцией компании ECRIM в серийной аппаратуре позволит сократить финансовые и временные затраты. ■

## Литература

1. Капралов Г. Н. Проблемы импортозамещения, принципиальные подходы к проектированию и тенденции развития. Электронная компонентная база космических систем: тезисы доклада XIV Международной научно-технической конференции. Сочи. 24–30 сентября. 2017.
2. Безродный В. Радиационно стойкие DC/DC-преобразователи из КНР. Часть 1 // Современная электроника. 2016. № 7.
3. Безродный В. Радиационно стойкие DC/DC-преобразователи из КНР. Часть 2 // Современная электроника. 2016. № 8.
4. Безродный В. Радиационно стойкие DC/DC-преобразователи напряжения для систем электроснабжения с постоянным напряжением. Часть 1 // Компоненты и технологии. 2021. № 12.
5. Безродный В. Радиационно стойкие DC/DC-преобразователи напряжения для систем электроснабжения с постоянным напряжением. Часть 2 // Компоненты и технологии. 2022. № 1.
6. Безродный В. Радиационно стойкие импульсные стабилизаторы напряжения для локального преобразования напряжения // Компоненты и технологии. 2022. № 5.
7. Ельчанинов В. Изделия компании ECRIM: DC/DC-преобразователи специального применения // Компоненты и технологии. 2014. № 6.