

Рекомендации по применению преобразователей постоянного напряжения средней мощности серий ВХА15, ВХА30 и ВХА40

Виктор Жданкин

Повышенный интерес потребителей к концепции построения распределенных систем электропитания вызывает рост объемов продаж стандартных преобразователей постоянного напряжения в постоянное (DC/DC) на мировом рынке источников вторичного электропитания (ИБЭП). У потребителей преобразователей постоянного напряжения фирмы Artesyn Technologies популярны преобразователи средней мощности серий ВХА15, ВХА30 и ВХА40.

В статье, написанной по материалам Design Note 100 и 101 Rev.01 для преобразователей серий ВХА15, ВХА30 и ВХА40, кратко рассматриваются различные аспекты их практического применения:

- электробезопасность и Директива по электромагнитной совместимости;
- восприимчивость к электромагнитным помехам (помехозащищенность);
- электромагнитная совместимость: кондуктивные помехи и помехи излучения;
- особенности распределенной системы питания;
- особенности системы защиты;
- обеспечение тепловых режимов;
- выбор типа фильтра в зависимости от соотношения сопротивления источника входной электроэнергии и его нагрузки.

Электробезопасность и Директива по электромагнитной совместимости

Преобразователи серий ВХА15 и ВХА30, ВХА40 (рис. 1) предназначены для подключения к вторичной питающей сети SELV (Safe Extra Low Voltage) или сети постоянного напряжения систем телекоммуникации (Telecommunications Network Voltage, TNV), которые изолированы от сетей переменного тока посредством применения усиленной изоляции (единая система изоляции, обеспечивающая защиту от поражения электрическим током). Основная изоляция (изоляция, обеспечивающая основную защиту от поражения электрическим током) испытана напряжением 1500 вольт постоянного тока в соответствии с электрическими требованиями стандартов EN60950, UL 1950 и CSA22-2 No. 950.

SELV — это распределенная система электропитания с уровнями напряжений промежуточной шины 12 В, 24 В или 48 В.

TNV — это сеть постоянного напряжения с номинальным значением -48 В (телекоммуникационный стандарт).

Электромагнитная совместимость: снижение восприимчивости к помехам

Для обеспечения надежного функционирования электронного оборудования необходимо обеспечить его не-

восприимчивость к электромагнитным помехам. В настоящее время это требование утверждено европейским законом в форме Директивы по электромагнитной совместимости (ЭМС) 89/336/ЕЕС. Директива предписывает, чтобы любая система, поставляемая в страны Европейского Сообщества, соответствовала условиям Директивы по ЭМС и имела маркировку CE. Знак CE — это в первую очередь гарантия электромагнитной совместимости: он подтверждает, что изделие не только не генерирует излишнего радиочастотного излучения, но и само защищено от внешнего воздействия. Правила включают также требования электрической безопасности, аналогичные определяемым стандартом IEC950 (ГОСТ Р 50377-92). Для упрощения соответствия системным требованиям Директивы по ЭМС преобразователи серий ВХА15, ВХА30 и ВХА40 сконструированы с учетом необходимых стандартов по помехозащищенности аппаратуры (табл. 1).

Электромагнитная совместимость по кондуктивным помехам и помехам излучения

Электромагнитная совместимость (ЭМС) — это способность электрооборудования функционировать совместно и одновременно с другими техническими средствами в условиях возможного влияния посторонних электромагнитных полей, не создавая при этом недопустимых помех другим средствам.



Рис. 1. Внешний вид DC/DC преобразователя серии ВХА40

Таблица 1. Некоторые требования к электронным устройствам по невосприимчивости к электромагнитным помехам

Описание	Стандарт	Уровень соответствия
Электростатический разряд	EN61000-4-2	4 кВ контактный разряд 8 кВ воздушный разряд
Восприимчивость к помехам излучения	IEC801-3	10 В/м
Скоростные переходные процессы/радиоимпульсы	EN61000-4-4	2 кВ
Перенапряжения	EN61000-4-5	0,5 кВ (генератор с импедансом 40 Ом, вторичная защита от перенапряжения)

Помехи излучения

Помехи излучения — распространение электромагнитных полей в окружающее преобразователь пространство, они проявляются в виде электрического, магнитного и электромагнитного поля.

Преобразователи серий ВХА15, ВХА30 и ВХА40 удовлетворяют требованиям одностипных стандартов EN55022 Class A и CISPR22 Class A. Преобразователи этих серий практически соответствуют требованиям к оборудованию Class B. Соответствие эксплуатационных качеств системы уровню B в части требований по помехам может быть обеспечено применением соответствующего корпуса.

Здесь и далее в статье использованы ссылки на различные зарубежные стандарты. Для справки рассмотрим основные положения этих стандартов в части норм на допустимые электромагнитные помехи.

Стандарт EN55022

Полное название стандарта EN55022 — «Пределы и методы измерений характеристик радиочастотных воздействий на оборудование информационных технологий». Стандарт разработан в рамках CENELEC (Европейский комитет по сертификации электрооборудования, сформирован из государственных комитетов стран Европейского Сообщества, включая Австрию, Швейцарию, Норвегию, Швецию, Исландию и Финляндию).

По определению стандарта EN55022, к оборудованию для информационных технологий относится оборудование, разработанное для следующих целей:

- передача данных от внешнего источника, такого как внешняя линия или клавиатура,
- выполнение некоторых функций по обработке принятых данных, таких как вычисление, преобразование данных или запись, формирование файлов, сортировка, хранение, пересылка данных;
- обеспечение вывода данных на другое оборудование, воспроизведение данных или изображений.

EN55022 предусматривает две категории соответствия — оборудование Class A и Class B.

Оборудование Class A — оборудование для информационных технологий, соответствующее нормам на допустимые помехи Class A, но не соответствующее нормам на допустимые уровни помех Class B. В некоторых странах такое оборудование имеет ограничения по продаже и применению.

Оборудование Class B — оборудование для информационных техно-

логий, соответствующее нормам на допустимые помехи Class B. Такое оборудование не имеет никаких ограничений по продаже и использованию.

Оборудование Class A обычно применяется в промышленных условиях, а оборудование Class B разрешено для применения в бытовых условиях.

Стандарт CISPR22

Полное название стандарта CISPR22 — «Пределы и методы измерений высокочастотных параметров оборудования для информационных технологий». Нормы на допустимые уровни помех для оборудования Class A и Class B, согласно CISPR 22, идентичны нормам EN 55022 (рис. 2).

Стандарт опубликован в 1985 году Comite International Special des Perturbations Radioelectriques, более известным как CISPR. На международном уровне IEC (Международная Электротехническая Комиссия — МЭК) была ответственна за подготовку рекомендаций и стандартов для зон высокочастотных и электромагнитных помех через подразделение IEC CISPR.

Этот стандарт несколько отличается от стандарта VDE 0871, особенно в отношении норм на допустимые уровни помех и соответствующих им диапазонов частот.

Стандарт VDE 0871 издан Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) — негосударственной организацией, которая готовит стандарты и производит испытания по сертификации электрооборудования. Он распространяется на промышленное, научное и медицинское оборудование. Однако, так как в его область действия включены узкополосные помехи, которые не характерны для телекоммуникационного оборудования, он использовался для тестирования и сертификации оборудования обработки данных и офисного оборудования. Нормы на допустимые помехи по электромагнитному полю согласно VDE приведены на рис. 3.

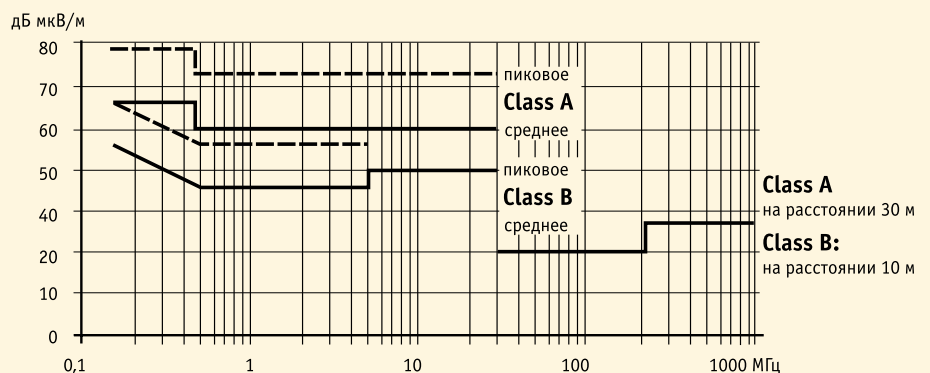


Рис. 2. Нормы на допустимые помехи по электромагнитному полю, согласно CISPR (нулевой уровень соответствует напряженности 1 мкВ/м)

Таблица 2. Рекомендуемые внешние конденсаторы

Входное напряжение, В	Рекомендуемая модель внешнего конденсатора
48	Серия Nippon Chemi-Con 120 мкФ, 100 В ITW Paktрон Capstick, номер для заказа 405K100CS4, 4 мкФ@100 В
24	ITW PAKTRON 405K100CS4
12	2 конденсатора ITW Paktрон 405K100CS4, конденсаторы соединены параллельно

Таблица 3. Рекомендуемые внешние дроссели

Входное напряжение, В	Рекомендуемая модель внешнего дросселя
24 В	Pulse Engineering Part No. PE-53691, 13,9 А, 1,68 мкГн
48 В (одноканальный преобразователь)	Pulse Engineering Part No. PE-53631, 2,8 А, 9,4 мкГн
48 В (трехканальный преобразователь)	Pulse Engineering Part No. PE-53602, 1,4 А, 29,7 мкГн

Кондуктивные помехи — Class A, вариант со встроенным фильтром

Кондуктивные помехи — электромагнитные помехи, передаваемые по проводам питания, сигнализации и управления.

Преобразователи с номинальными значениями напряжения питающей сети постоянного тока 12 В, 24 В и 48 В можно заказать со встроенным помехоподавляющим фильтром, который обеспечивает соответствие требованиям VDE0871/-А или EN55022-А по уровням кондуктивных помех. Для заказа модели со встроенным фильтром необходимо добавить суффикс "-F" после шифра модели, например ВХА15-48S12-F.

Кондуктивные помехи — Class B, внешний фильтр

Дополнительный внешний конденсатор, установленный во входных цепях преобразователей серий ВХА15 и ВХА30, обеспечивает соответствие требованиям стандартов VDE0871/8-В, EN55022-В и CISPR22-В к предельным значениям кондуктивных помех. Конструкция, используемая при испытаниях, выполнена согласно VDE 0877 Часть 1 с нагрузкой, установленной на расстоянии 10 см от испытываемого преобразователя.

Там, где критичны габаритные размеры, фирма ITW Paktрон Capacitor предлагает низкопрофильные конденсаторы с высотой меньше 7 мм (табл. 2).

В качестве последовательных звеньев помехоподавляющих фильтров входной сети постоянного тока фирма Artesyn Technologies рекомендует применять модели дросселей, представленных в табл. 3.

Из элементов отечественного производства в качестве помехоподавляющих дросселей в цепях с токами до 3 А рекомендуется использовать высокочастотные дроссели типа ДМ, при больших номинальных значениях токов — дроссели серии Д200.

Для улучшения массогабаритных характеристик высокочастотные дроссели входного фильтра выполняют на тороидальных сердечниках из МО-пермаллоя марок МП60, МП140. Применение в цепях питания дросселей на тороидальных магнитопроводах из магнитомягкого феррита марок М2000НМ, М3000НМ требует введения воздушного зазора для предотвращения насыщения сердечника постоянной составляющей тока.

Обязательным условием для фильтров является емкостный характер входного и выходного полных сопротивлений, когда вход и выход фильтра начинаются с конденсатора.

На рис. 4 представлен П-образный помехоподавляющий фильтр, применение которого с одноканальными моделями преобразователей серии ВХА40 обеспечивает соответствие требованиям EN55022 Class B по кондуктивным помехам.

Этот фильтр рекомендуется для использования в тех условиях, когда $U_{вх} > 20$ В, в частности, для моделей с номинальным значением входного напряжения 24 В. При входных напряжениях ниже этого значения преобразователь работает неустойчиво ввиду слишком высокого значения сопротивления источника. Для устойчивой работы во всем диапазоне напряжения питающей сети необходимо установить внешний конденсатор в непосредственной близости от входных контактов. Рекомендуется установка конденсатора емкостью 120 мкФ. Одноканальные модели с номинальным напряжением питающей сети 48 В могут использоваться с этим фильтром во всем диапазоне напряжений питающей сети постоянного тока.

На рис. 5 представлена электрическая схема П-образного помехоподавляющего фильтра, применение которого с трехканальными моделями преобразователей ВХА40 обеспечивает соответствие требованиям EN55022 Class A по кондуктивным помехам.

Этот фильтр предназначен для применений в условиях, когда $U_{вх} > 20$ В. Как и в предыдущем случае, для устойчивой работы во всем диапазоне напряжения питающей сети рекомендуется установить внешний конденсатор емкостью 120 мкФ в непосредственной близости от входных контактов.

На рис. 6 представлена электрическая схема П-образного помехоподавляющего фильтра, применение которого с трехканальными моделями преобразователей ВХА40 обеспечивает соответствие требованиям EN55022 Class A по кондуктивным помехам.

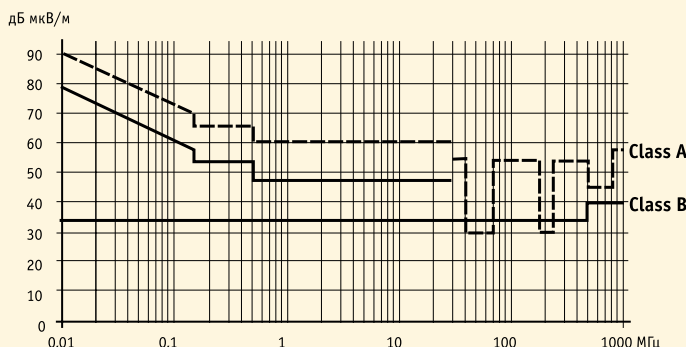


Рис. 3. Нормы на допустимые помехи по электромагнитному полю для некоторых типов функционального оборудования согласно VDE (нулевой уровень соответствует напряженности 1 мкВ/м)

Class A : излучения, измеренные на расстоянии 100 м в диапазоне частот 10 кГц–30 МГц, 30 м — 30–470 МГц, 10 м — 470–1000 МГц
Class B: 30 м — 10 кГц–30 МГц, 10 м — 30–1000 МГц

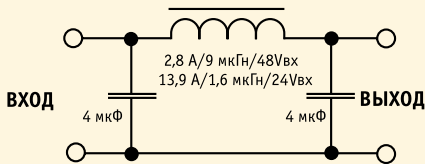


Рис. 4. Электрическая схема П-образного помехоподавляющего фильтра для подавления несимметричных помех во входных цепях одноканальных моделей с номинальными значениями входных напряжений 24/48 В

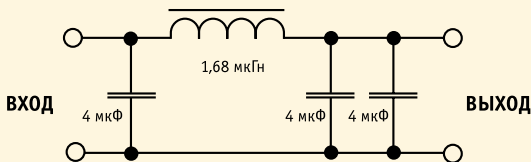


Рис. 5. Электрическая схема П-образного помехоподавляющего фильтра для подавления несимметричных помех во входных цепях трехканальных моделей с номинальным значением напряжения питающей цепи 24 В

Этот фильтр предназначен для применений в условиях, когда $U_{вх} > 40$ В. При более низких значениях входных напряжений модуль работает неустойчиво ввиду слишком высокого значения сопротивления источника. Для устойчивой работы во всем диапазоне напряжения питающей сети необходимо установить внешний конденсатор в непосредственной близости от входных контактов. Рекомендуется установка конденсатора емкостью 120 мкФ.

На рис. 7 представлена электрическая схема Г-образного помехоподавляющего фильтра с емкостным входом, применение которого в качестве дополнительной первой ступени к фильтрам, рекомендуемым для соответствия требованиям Class A по кондуктивным помехам, позволяет обеспечить соответствие требованиям EN55022 Class B.

Этот фильтр предназначен для применений в условиях, когда $U_{вх} > 20$ В, для моделей с номинальным напряжением источника входной электроэнергии 24 В и $U_{вх} > 40$ В для моделей с номинальным напряжением 48 В. Для устойчивой работы во всем диапазоне напряжения питающей сети рекомендуется установить внешний конденсатор емкостью 120 мкФ в непосредственной близости от входных контактов.

С методами подавления электромагнитных помех и, в частности, с расчетом помехоподавляющих фильтров можно ознакомиться в [1]. Методика оценки электромагнитной совместимости модулей преобразователей постоянного напряжения в популярной форме изложена в [2].

Примечание по конструктивному размещению нагрузки и системному заземлению

Изделия удовлетворяют требованиям стандартов VDE0878-B, EN55022-B и CISPR22-B по кондуктивным помехам в диапазоне частот от 10 кГц до 30 МГц на входе при условии, что нагрузка расположена на расстоянии не более 10 см; для подключения нагрузки необходимо применять скрученные пары проводов или проложенные параллельно вплотную друг к другу; общие провода необходимо объединять шиной, обеспечивающей минимальное сопротивление между точками подключения. Длинные соединительные проводники, обеспечивающие подключение нагрузки, могут излучать помехи общего вида с частотами выше 20 МГц на провода, подводящие входную электроэнергию.

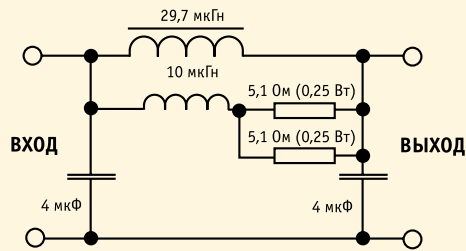


Рис. 6. Электрическая схема П-образного помехоподавляющего фильтра для подавления несимметричных помех во входных цепях трехканальных моделей с номинальным значением напряжения питающей цепи 48 В

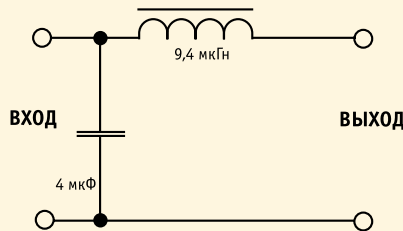


Рис. 7. Электрическая схема Г-образного помехоподавляющего фильтра для подавления несимметричных помех во входных цепях трехканальных моделей с номинальным значением напряжения питающей цепи 24/48 В

Распространению помех по проводам следует препятствовать на системном уровне. В случае, когда блок не соответствует требованиям Class B на частотах выше 20 МГц в результате выполнения разводки электрических проводов системы, необходимо подключить дополнительный Y-конденсатор между общей шиной источника входной электроэнергии и общей точкой заземления выходных питающих напряжений для развязки от помехи общего вида в определенном месте.

Рекомендуемый тип конденсатора — EVOX-RIFA PME271Y422M или эквивалентный ему.

Для подавления различных видов электромагнитных помех применяются X- и Y-конденсаторы. X-конденсаторы, которые подключаются между входными шинами, эффективны для подавления симметричной помехи (синфазная помеха). Y-конденсаторы, которые подключаются между входными шинами и корпусом, эффективны при подавлении несимметричного напряжения радиопомех между каждым проводом и корпусом устройства (рис. 8).

Особенности распределенной системы электропитания и сетей постоянного напряжения систем телекоммуникации

Защита от понижения входного напряжения

Преобразователи серий ВХА15, ВХА30 и ВХА40 имеют встроенные схемы выключения, срабатывающие в случаях падения входного напряжения ниже определенных уровней. Преобразователь не должен работать длительно при уровнях входного напряжения, находящихся между пороговыми значениями: максимальным пороговым напряжением включения схемы защиты и минимальным пороговым напряжением выключения схемы защиты (уровень входного напряжения, при котором преобразователь переходит в номинальный режим работы).

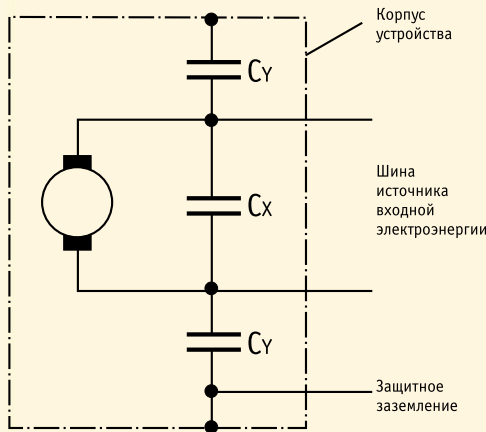


Рис. 8. Схема подключения X- и Y-конденсаторов

Выносная обратная связь

Для исключения влияния падения напряжения на соединительных линиях между выходом преобразователя и удаленным прибором-потребителем применяется способ регулирования, при котором обратная связь для стабилизации напряжения на входе прибора-потребителя берется непосредственно со входных питающих контактов прибора-потребителя. Применение дополнительного вывода обратной связи служит эффективным средством компенсации негативного влияния сопротивления питающей линии. Схема подключения нагрузки к одноканальному преобразователю серии VXA30 показана на рис. 9.

Цепи выносной обратной связи подключаются к выходным штырям через резисторы (150 Ом, 0,25 Вт), расположенные внутри корпуса преобразователя. При эксплуатации преобразователей выводы выносной обратной связи обязательно должны быть задействованы. Это может быть сделано одним из следующих способов:

- непосредственно на выходных штырях в тех случаях, когда не требуется компенсация падения напряжения на соединительных проводах (нагрузка размещена рядом с преобразователем, небольшая мощность нагрузки), при этом выводы +Vout и +Sense, -Vout и -Sense соединяются непосредственно на модуле;
- цепи выносной обратной связи могут быть подключены непосредственно к нагрузке или другим точкам, требующим стабилизированного напряжения.

При незадействованных выводах выносной обратной связи выходное напряжение будет превышать номинальное значение на 7% и стабилизация напряжения на нагрузке будет в значительной степени снижена.

Падение напряжения на проводах, соединяющих выходные штыри преобразователя и нагрузку, может быть скомпенсировано до 10% (максимум) от номинального значения. Этот показатель включает в себя также любое

Таблица 4. Значения пороговых напряжений преобразователей

Номинальное значение входного напряжения, В	Максимальное значение напряжения выключения преобразователя, В	Минимальное значение напряжения включения преобразователя, В
12	7,0	8,8
24	14	18
48	28	35

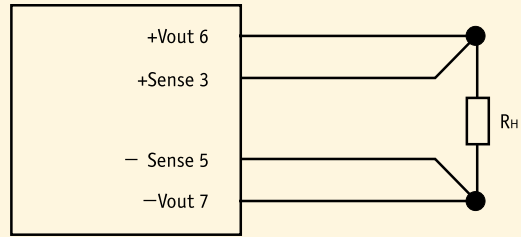


Рис. 9. Схема подключения нагрузки к одноканальному преобразователю серии VXA30 с использованием выносной обратной связи (+Sense и -Sense — выводы для подключения цепей выносной обратной связи)

повышение напряжения в результате использования режима подстройки выходного напряжения подстроечными резисторами, подключенными к выводам TRIM. В случае повышения выходного напряжения выше номинального значения на 10% рабочие характеристики преобразователя при минимальном значении напряжения питающей сети могут быть ухудшены.

В случае применения выносной обратной связи необходимо обеспечить надежное подключение соединительных проводов. Даже кратковременный разрыв в линиях, соединяющих нагрузку и преобразователь, может привести к протеканию суммарного тока нагрузки через линии выносной обратной связи, что, в свою очередь, может привести к повреждению внутренних цепей.

Далее приведены общепринятые правила применения выносной обратной связи.

1. Провода, обеспечивающие подключение цепей выносной обратной связи, следует прокладывать параллельно и вплотную друг к другу. В качестве альтернативы могут применяться экранированные провода. Это значительно уменьшает наведенные индуктивные помехи и ослабляет влияние выравнивания второго полюса амплитудно-частотной характеристики в цепи обратной связи.
2. Подключение цепей выносной обратной связи обеспечивает регулирование по постоянному току в точках подключения, но регулирование по переменному току ослабляется, то есть выносная обратная связь эффективна при медленных изменениях тока в нагрузке (статическая нагрузка). Для того чтобы обеспечить наилучший отклик на кратковременные возмущения, необходимо применять развязывающий конденсатор в точках подключения выносной обратной связи. Значение емкости рекомендуется выбирать из расчета больше 10 мкФ на каждый ампер протекающего тока.

Подстройка выходного напряжения

Подключение подстроечного резистора позволяет устанавливать значения выходного напряжения в пределах ±10% от номинального значения напряжения. Схемы подключения подстроечных резисторов и их номинальные значения приведены в руководящих материалах по применению конкретных изделий.

Особенности системы защиты

Защита от превышения выходного напряжения

Параллельно каждому выходному каналу включен быстросрабатывающий (400 Вт/ 1 мс) ограничитель всплесков напряжения. Ограничители предназначены как для защиты

преобразователей ВХА15, ВХА30 и ВХА40, так и для защиты прибора-потребителя от кратковременных превышений выходного напряжения, наведенных или отраженных от нагрузки. Однако необходимо учитывать, что эти устройства защиты не предназначены для защиты в режиме постоянного превышения выходного напряжения (табл. 5).

Характеристики цепей защиты от короткого замыкания одноканальных преобразователей

Эти изделия имеют цепи защиты от короткого замыкания с неограниченным номиналом. Температура основания корпуса при этом должна быть менее +100°C (+105°C для серии ВХА40). При возникновении режима короткого замыкания типовое значение мощности рассеивания - 7 Вт (9 Вт для серии ВХА40). Она может достигать значения до 10 Вт (12 Вт для серии ВХА40) при максимальном значении напряжения питающей сети постоянного тока.

Цепи защиты от короткого замыкания многоканальных преобразователей

За исключением преобразователей ВХА15-48D05 и ВХА30-48D05, все многоканальные преобразователи имеют цепи защиты от короткого замыкания, подобные рассмотренным ранее.

Обеспечение тепловых режимов

Другой проблемой, с которой приходится сталкиваться разработчикам распределенных систем электропитания, является отвод тепла для обеспечения тепловых режимов преобразователей напряжения. Так как преобразователи постоянного напряжения не имеют 100% КПД, часть подводимой электрической энергии преобразуется в тепло, которое должно быть отведено для предотвращения чрезмерного нагревания внутренних узлов и деталей преобразователей, чтобы тем самым исключить рост интенсивности отказов радиоэлементов и замедлить старение конструкционных материалов.

В конструкции преобразователей компоненты с большим тепловыделением размещаются на металлических, проводящих тепло поверхностях корпусов, обычно в основаниях корпусов. Максимальные рабочие температуры основания корпуса, как правило, приводятся в технических характеристиках преобразователей напряжения, и значения этих параметров для изделий промышленного назначения не меньше 70°C, а для изделий военного назначения — до +125°C.

Разработчик системы вторичного электропитания должен обеспечить теплообмен между нагретыми изделиями и окружающей средой для отвода тепла в окружающее пространство. Для преобразователей напряжения с выходной мощностью более 5 Вт функции теплообменников с окружающей средой часто выполняют радиаторы — элементы системы охлаждения с развитой поверхностью теплообмена.

Таблица 5. Пороговое напряжение пробоя устройств защиты

Номинальное значение выходного напряжения преобразователя, В	Уровень напряжения срабатывания защиты, В
3,3	3,9
5	6,7
12	15,6
15	18,9

Полный расчет кондуктивных систем охлаждения, основанных на контактном способе передачи тепла, достаточно сложен и подробно изложен в брошюре [3]. Рассмотрим только порядок расчета максимально допустимой рассеиваемой в преобразователе мощности.

Первым шагом при расчете радиатора или системы обеспечения теплового режима является определение мощности, рассеиваемой преобразователем. Это значение получаем вычитанием значения мощности, отдаваемой в нагрузку, из полной мощности, потребляемой преобразователем от источника входной электроэнергии.

Вся мощность, которая не отдается в нагрузку, а выделяется в виде тепла в преобразователе, должна быть отведена. Значение этой мощности вычисляется по следующей формуле:

$$P_{diss} = (P_{out}/h) - P_{out}$$

Здесь h — это КПД в %.

Производители ИВЭП приводят в спецификациях минимальное значение КПД, обычно только при полной нагрузке. Более точные вычисления возможны при использовании графиков, показывающих зависимость КПД от выходной мощности. Тем не менее, даже когда КПД уменьшается при снижении нагрузки, наихудший случай (наибольшее значение) рассеивания мощности обычно имеет место при полной нагрузке. Когда значение рассеиваемой мощности известно, разработчик может использовать спецификации изделия и рассчитать необходимые условия отвода тепла для данной выходной мощности и температуры окружающей среды, а также максимально допустимую выходную мощность при данном значении коэффициента теплообмена радиатора и температуры окружающей среды. Следует заметить, что значения рассеиваемого тепла могут быть в некоторых случаях неточными. Всегда должны приниматься во внимание конкретные условия применения.

Коэффициент теплообмена радиатора определяется по формуле:

$$Q_{sa} = (T_c - T_a)/P_{diss},$$

где $T_c = T_{op} - (T_{op} - T_{fp})(P_{diss}/P_{dmax})$

$$P_{dmax} = (P_{outmax}/h) - P_{outmax}$$

Здесь T_c — максимальная температура корпуса;
 T_a — максимальная температура окружающей среды;
 P_{diss} — мощность, рассеиваемая в преобразователе;
 T_{op} — температура, при которой преобразователь рассеивает мощность 0 Вт (максимальное снижение рабочей температуры);

T_{fp} — максимальная температура корпуса при полной паспортной мощности;

P_{dmax} — максимально допустимая мощность рассеивания при значении температуры, равной или меньшей T_{fp} ;

P_{outmax} — максимальное значение паспортной выходной мощности;

h — минимальное значение КПД при максимальной выходной мощности.

Максимальное значение безопасной выходной мощности определяется по формуле:

$$P_{out} = P_{dt} \times h / (1 - h),$$

где $P_{dt} = P_{dmax}(T_{op} - T_a) / (Q_{sa} \times P_{dmax} + (T_{op} - T_{fp}))$

Здесь P_{dt} — максимальное значение безопасной мощности рассеивания в блоке при температуре выше T_{fp} .

В любом случае необходимо обеспечить небольшое контактное сопротивление соприкасающихся поверхностей преобразователя и радиатора, определяющееся следующими факторами: контактным давлением, шероховатостью, неплоскостностью, наличием различных прокладок и смазок.

Когда преобразователь DC/DC подвергается воздействию естественного воздушного охлаждения или принудительного воздушного потока, возможно применение переноса тепла конвекцией между поверхностью преобразователя и окружающей его средой.

Для отвода излишнего тепла от преобразователей Artesyn Technologies рекомендуется метод переноса тепла кондукцией, основанный на контактном способе передачи тепла за счет теплопроводности элементов конструкции. Так как этот способ отвода тепла не зависит от перемещений воздуха за пределами преобразователя, применения, требующие герметичных конструктивов, являются возможными до тех пор, пока непрерывная цепь с низким значением теплового сопротивления обеспечивает передачу тепла на поверхность конструктива.

Существуют альтернативные стандартным радиаторам варианты. Для преобразователей с выходной мощностью, меньшей 10 Вт, большие площади металлизации печатной платы под конвертером могут равномерно распределять тепло от модуля. Для преобразователей с большей мощностью пластина из материала с хорошими кондуктивными характеристиками, размещенная под преобразователем, может отводить от него тепло. В идеальном случае эта пластина должна простираться до кромок печатной платы, откуда тепло может быть отведено на боковые стенки конструктива, отдающие тепло окружающей среде или другому теплоносителю.

Значение максимальной рабочей температуры

Температура основания корпуса преобразователей VXA15, VXA30 не должна превышать +100°C (+105°C для преобразователей серии VXA40). Значение максимальной температуры при эксплуатации зависит от скорости потока воздуха, температуры окружающей среды, ориентации модуля относительно потока воздуха и мощности, рассеиваемой блоком. При эксплуатации необходимо принимать во внимание наихудший случай для расчета температуры основания корпуса.

В качестве примера для VXA15 и VXA30, установленных вертикально при естественной воздушной конвекции, тепловое сопротивление основание корпуса — окружающая среда

$$R_{th,B.P. - H.S.} = 6,5^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Для преобразователей серии VXA40 значение этого параметра равно 8,5°C/Вт.

Таблица 6. Тепловые сопротивления (R_{th} °C/Вт)

Модель радиатора	Скорость воздушного потока, м/с			
	0	0,5	1,5	2
Без радиатора	8,5	6,1	4,34	3,65
NFC40-HTSK-X	7,2	5,5	3,76	3,2

Для серий VXA15 и VXA30 с радиаторами, установленными вертикально при естественной воздушной конвекции, тепловое контактное сопротивление основание корпуса + радиатор - окружающая среда

$$R_{th(B.P. - H.S.) - AMB} = 5,2^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$$

Использование DC/DC преобразователей при значениях выходных мощностей более 50% номинала и значениях напряжения питающей сети в пределах 30% от номинала значения позволяет получить КПД, приблизительно равный паспортному значению:

$$P_{diss\ max} \times R_{th,B.P. - AMB} + T_{ambient\ max} < 100^{\circ}\text{C}$$

(105°C для серии VXA40),

$$P_{diss} = P_{out}(100-h)/h$$

Здесь $P_{diss\ max}$ — максимальная рассеиваемая мощность, P_{out} — выходная мощность, h — КПД в %.

Эти формулы служат для расчета запасов, необходимых при работе в условиях повышенных температур. Дополнительный радиатор позволяет увеличить выходную мощность при повышенной температуре окружающей среды. В таблице 6 приведены значения тепловых сопротивлений для преобразователей серии VXA40.

Скорость воздушного потока определяется по следующей формуле:

$$\text{скорость воздушного потока (м/с)} = \frac{\text{производительность вентилятора (м}^3/\text{с)}}{\text{пересекаемая площадь (м}^2\text{)}}$$

Для расширения диапазона рабочих температур преобразователей серии VXA30 возможна поставка преобразователей с установленными ребристыми радиаторами. Для заказа необходимо добавить «-1» в маркировке модели заказываемого преобразователя.

С подробным изложением методов обеспечения тепловых режимов ИВЭП можно ознакомиться в [1], [3], [4].

Монтаж радиаторов на крышке корпусов преобразователей

Для серии VXA40 поставляется комплект для установки радиатора. Ребристый радиатор может быть установлен параллельно или перпендикулярно направлению размещения монтажных штырей преобразователя, таким образом обеспечивается оптимальная гибкость при обеспечении тепловых режимов (рис. 10).

При использовании ребристых радиаторов поток воздуха (газа) должен быть направлен параллельно ребрам радиатора, то есть при обдуве поток газа должен продуваться через желоба, образованные ребрами радиатора.

Для уменьшения контактного сопротивления радиаторы поставляются в комплекте с термической прокладкой, которая позволяет обходиться без теплопроводных паст. В состав набора входят все необходимые для монтажа принадлежности. Для заказа радиатора, монтируемого на крышку корпуса посредством винтов с метрической резьбой, следует использовать номер для заказа NFC40-HTSK-M. Для заказа радиаторов, монтируемых винтами с резьбой imperial (стандартная английская резьба), используется номер NFC40-HTSK-I.

Диапазон рабочих температур

Показатели качества рассматриваемых изделий определялись при температурах основания корпуса в диапазоне от -25°C до +100°C (+105°C — для серии ВХА40).

Эксплуатационные особенности и дополнительные возможности

Перекрестное регулирование моделей с двумя выходными каналами

Для двухканальных моделей обеспечивается регулирование суммарного значения выходных напряжений. Так, регулирование выходных напряжений преобразователей 48D05 осуществляется таким образом, чтобы суммарное значение выходных питающих напряжений было равно 10 В (табл. 7).

Эти показатели (табл. 7) являются типичными для всех моделей с двумя выходными каналами.

Дистанционное включение/отключение

Контакт дистанционного управления соединен внутри преобразователя последовательно с переходом база-эмиттер кремниевого транзистора и двумя кремниевыми диодами. Он соединен с шиной источника входной электроэнергии — Увх. через резистор 15 кОм, что обеспечивает помехозащищенность командного входа. Для отключения преобразователя необходимо снизить напряжение коллектор-эмиттер транзистора с открытым коллектором (максимальное значение тока 3 мА) до значения меньше 1 В. Для включения силового каскада преобразователя напряжение коллектор-эмиттер транзистора должно быть больше 3 В.

Реакция на кратковременные всплески напряжения

Для обеспечения наилучших динамических характеристик при изменениях тока нагрузки рекомендуется нагружать преобразователь не менее чем на 5% от номинальной нагрузки. Для моделей с номинальным значением входного напряжения 12 В с целью обеспечения оптимальных динамических характеристик при изменениях тока нагрузки входное напряжение следует устанавливать больше 9,5 В.

Входной импеданс

Для обеспечения нормальной работы преобразователей постоянного напряжения необходимо обеспечить достаточно низкий импеданс первичного источника энергии; особенно это важно при изменениях входного напряжения и при значительных и быстрых изменениях тока нагрузки.

Необходимо учитывать резистивный и реактивные компоненты импеданса первичных источников питания.

Приведенные паспортные значения диапазонов напряжений питающей сети учитывают напряжения, которые

должны быть приложены к входным цепям при установившемся режиме работы и при переходных процессах, вызванных изменениями тока нагрузки. Преобразователи без встроенных входных фильтров, как правило, требуют первичных источников энергии с более низким значением реактивной составляющей импеданса, чем преобразователи со встроенным фильтром. Это объясняется тем, что входной ток имеет значительные гармоники с частотами, кратными частоте преобразования.

Реактивная составляющая импеданса первичного источника энергии может быть эффективно снижена установкой пленочных или керамических конденсаторов на входе преобразователей. Рекомендуется установка пленочных конденсаторов ITW Paktron 20 мкФ, 50 В Capstick (ITW Paktron Part Number: 206K050CS4) или аналогичных им .

Шунтирование высокочастотной пульсации входного тока

Шунтирование пульсации тока особенно важно для моделей с номинальным значением входного напряжения 12 В. Модели без встроенного фильтра имеют максимальные значения постоянной составляющей входного тока 5 А и 0,7 А (среднеквадратичное значение) переменного тока, наложенные друг на друга. Переменная составляющая тока является почти синусоидальной при частотах 350-400 кГц. Источник первичной энергии должен иметь такой импеданс, чтобы быть способным выдавать этот ток с незначительными пульсациями напряжения. Для шунтирования высокочастотной составляющей входного тока рекомендуется установка высокочастотных пленочных конденсаторов, например типа К10-47в, параллельно шинам источника входной электроэнергии. Эта мера также эффективно снижает кондуктивные помехи и помехи излучения.

Бросок тока при первичном включении

В зависимости от индуктивного сопротивления питающей линии и повышенного значения импеданса первичного источника электроэнергии может потребоваться установка электролитических конденсаторов для обеспечения достаточного входного напряжения при включении и изменениях тока нагрузки. Начальный пусковой ток всегда находится в пределах ограничений European Telecommunications Standards Institute (ETSI) от 1990 года, но тем не менее является значительным, и первичный источник должен быть способным выдать его с низким значением просадки напряжения. При броске тока входное напряжение должно оставаться выше минимального порога.

Таблица 7. Показатели перекрестного регулирования модели ВХА-48D5, ВХА30-48D05

Модель	Перекрестное регулирование, %	Нагрузка первого выходного канала	Нагрузка второго выходного канала
48D05	2,5%	100%	40%
	4%	100%	10%
	7%	100%	0%

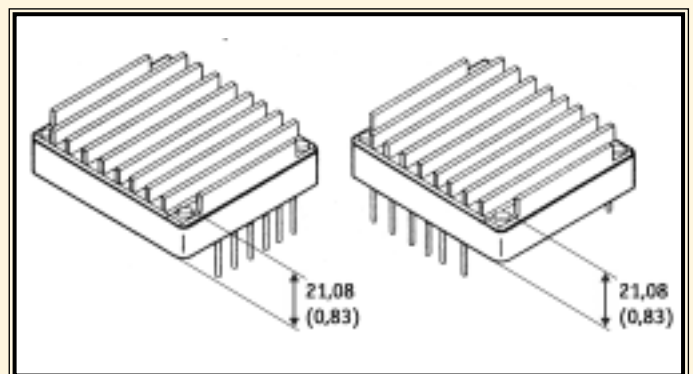


Рис. 10. Варианты способов монтажа радиаторов на крышке корпусов

Запуск преобразователей при отрицательной температуре окружающей среды

Для моделей с номинальным значением напряжения входной сети 48 В преобразователь запускается при температуре -25°C , полной нагрузке и предельных значениях отклонения напряжения питающей сети постоянного тока 36 и 70 В. При запуске преобразователя с полной нагрузкой и предельных значениях отклонения напряжения питающей сети постоянного тока 70 и 75 В необходимо обеспечить температуру основания корпуса, больше или равную $+10^{\circ}\text{C}$. Запущенный при этих условиях преобразователь обеспечивает заявленные показатели качества (энергетические, точностные характеристики, показатели надежности, электромагнитной совместимости).

Для моделей с номинальным значением напряжения входной сети 24 В преобразователь запускается при температуре -25°C , полной нагрузке и предельных значениях отклонения напряжения питающей сети постоянного тока 18 и 30 В. При запуске преобразователя при полной нагрузке и значениях отклонения напряжения питающей сети от 30 до 36 В необходимо обеспечить температуру основания корпуса, больше или равную $+10^{\circ}\text{C}$. Запущенный при этих условиях преобразователь обеспечивает заявленные показатели качества (энергетические, точностные характеристики, показатели надежности, электромагнитной совместимости).

Падение напряжения в установившемся режиме работы преобразователя

Необходимо принимать во внимание сопротивление подводящих проводников кабеля и контактов соединителей. Выходное напряжение источника входной электроэнергии для преобразователей с номинальным значением входного напряжения 12 В должно иметь минимальное значение, определяемое по следующей формуле:

$$9 (B) + I \times R$$

Здесь I — значение входного тока преобразователя (А),
 R — суммарное значение сопротивлений проводников кабеля и контактов соединителя (Ом).

При больших токах нагрузки применяют параллельное соединение проводников кабеля и контактов соединителя.

Надеюсь, что приведенные рекомендации позволят разработчикам создавать системы вторичного электропитания радиоэлектронных систем таким образом, что источник питания в наборе блоков, из которых формируется типичная электронная система, будет молчаливым тружеником, так как «все заинтересованные лица, от разработчика источника питания до пользователя оборудованием, ждут от источника питания хорошей и надежной работы без привлечения излишнего внимания к себе» [5]. ●

Литература

1. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Г.С. Найвельг, К.Б. Мазель, Ч.И. Хусаинов и др.; Под ред. Г.С. Найвельга.—М.: Радио и связь, 1986.—576 с.
2. Гончаров А.Ю. Практика применения конверторных модулей класса DC-DC //Электронные компоненты.- 1999.— № 1, 2.
3. The Computer Products Guide To Thermal Management of Power Converters. — Ireland: Computer Products, 1991.
4. Конструирование радиоэлектронных средств/ В.Ф. Борисов, О.П. Лавренов, А.С. Назаров, А.Н.Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова.— М.: Изд-во МАИ, 1996.—380 с.
5. Правильный выбор источника питания // Электроника. — 1981. — № 12.