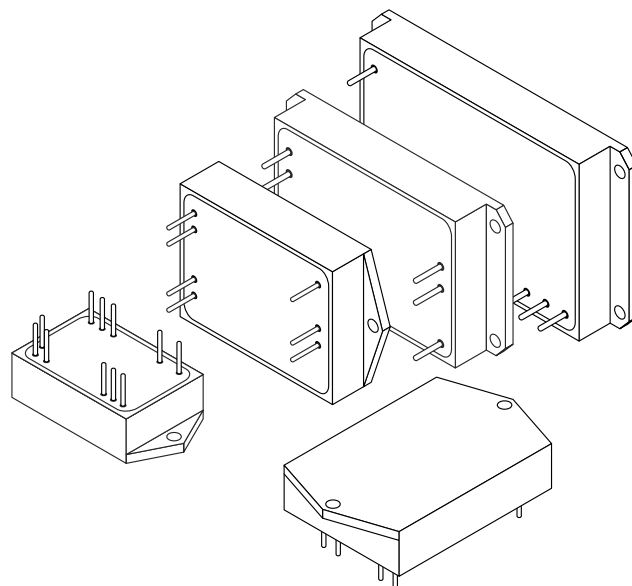


Серии MDV, MDVN

6–1000 Вт

Универсальные компактные DC/DC преобразователи



1. Описание

Компактные изолированные DC/DC модули электропитания MDV и MDVN для промышленной аппаратуры. При небольших габаритах максимальная выходная мощность модулей достигает 1000 Вт. При этом модули способны работать в широком диапазоне температур корпуса (до $-60...+125^{\circ}\text{C}$).

В зависимости от исполнения они имеют один или два гальванически развязанных выходных канала, могут включаться и выключаться по команде, имеют полный комплекс защит от перегрузки по току, короткого замыкания, перегрева, могут включаться последовательно по выходам. Отсутствие в схеме преобразователя оптрона позволяет модулю надежно функционировать в условиях воздействия ионизирующих излучений и высокой температуры в течение всего срока эксплуатации изделий.

Полимерная герметизирующая заливка обеспечивает надежную защиту от внешних воздействующих факторов и исключает повреждения преобразователя, вызванные вибрацией или попаданием грязи, влаги или соляного тумана.

1.1. Дополнительная информация

1.1.1. Описание на сайте производителя

<https://aedon.ru/catalog/dc/dc/series/22>



1.1.2. Отдел продаж

8 800 333 81 43; mail@aedon.ru

1.1.3. Техническая поддержка

techsup@aedon.ru

2. Содержание

1. Описание	1
1.1. Дополнительная информация	1
2. Содержание	1
3. Конструкция и схемотехника	2
3.1. Внешний вид и конструкция	2
3.2. Топология печатной платы	4
3.3. Схемотехника	5
4. Типовая схема включения	7
4.1. Схема типовой обвязки	7
4.2. Входной накопительный конденсатор	7
4.3. Входной фильтр радиопомех	8
4.4. Входной и выходной фильтр радиопомех синфазного вида	9
4.5. Выходная емкость	10
5. Нарастивание мощности DC/DC преобразователей	12
5.1. Параллельное включение преобразователей по выходу	12
5.2. Последовательное включение по выходным цепям	14
5.3. Резервирование	14
6. Сервисные и защитные функции	16
6.1. Сервисные функции	16
6.2. Комплекс защит	20
7. Методы измерения КПД	22
8. Методы измерения пульсаций выходного напряжения	24
8.1. Пульсация и радиопомехи	24
8.2. Измерительное оборудование	25
8.3. Методы измерения	25
8.4. Рекомендации по снижению пульсаций	27
9. Тепловой режим	29
9.1. Расчеты теплового режима	30
9.2. Расчет произвольного радиатора	31
9.3. Применение готовых решений	32
9.4. Рекомендации для улучшения теплоотведения	33
10. ЭМС	35
10.1. ЭМС модулей серии MDV	35
10.2. ЭМС модулей серии MDVN	42
11. Аварийные режимы и неисправности	45

3. Конструкция и схемотехника

DC/DC преобразователи «АЕДОН» — это готовые к применению изделия для различных сфер применения. Чтобы не допустить ошибок при проектировании системы электропитания (СЭП) с применением преобразователей и в дальнейшем осуществить «грамотный» монтаж, следует ознакомиться с конструктивными и схемотехническими особенностями.

3.1. Внешний вид и конструкция

Модуль представляет монолитную неремонтируемую конструкцию в металлическом корпусе с заливкой элементов компаундом. Внутри модуля размещена печатная плата с элементами поверхностного монтажа. Модули устанавливаются на печатную плату с необходимой топологией и внешними компонентами.

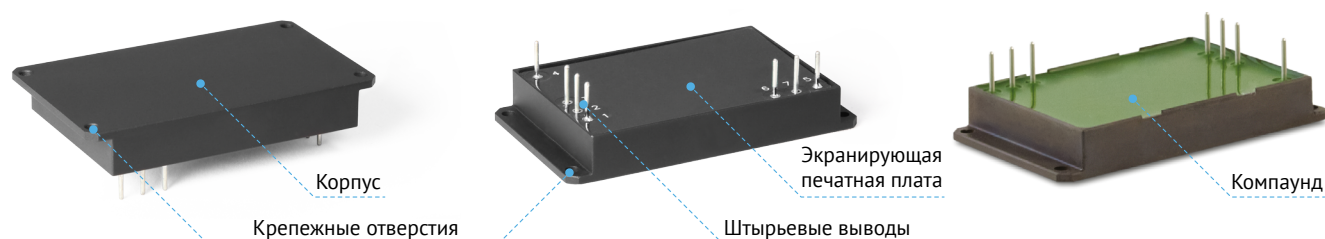


Рис. 1. Внешний вид DC/DC преобразователей.

3.1.1. Крепежные отверстия во фланцах

Отверстия служат для фиксации модуля на теплоотводящем основании, стенке корпуса аппаратуры или для фиксации радиатора охлаждения. Отверстия не имеют внутренней резьбы.

Необходимо учитывать особенности конструкции модулей при их креплении в аппаратуре. В основе конструкции лежит печатная плата с элементами для поверхностного монтажа, размещенная и залитая компаундом со стороны выводов. В связи с этим недопустимо приложить механических усилий при креплении модуля хомутом, планкой, радиатором и т. п. к компаунду модуля.

В зависимости от типоразмера корпуса отверстия имеют диаметр согласно [Табл. 1].

Типоразмер	MDV8	MDV12	MDV25	MDV50	MDV80	MDV160	MDV500	MDV1000
Ø, мм	2,7	2,7	2,7	2,7	3,2	3,2	3,2	3,2
Допуск	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
Количество отверстий	2	2	4	4	4	4	4	6

Табл. 1. Параметры крепежных отверстий.

При монтаже в аппаратуру момент затяжки винтов должен быть:

- для резьбы М3: $(6 \pm 0,2)$ кгс·см;
- для резьбы М2,5: $(4 \pm 0,2)$ кгс·см.

3.1.2. Корпус

Корпус модуля представляет собой фрезерованную или литую алюминиевую цельнометаллическую конструкцию. В качестве теплоотводящего основания используется сторона с максимальной площадью в одной плоскости с крепежными фланцами. Именно на ней располагаются теплонагруженные элементы, такие как дроссели, трансформатор, а также транзисторы, диоды и диодные сборки (силовые элементы). Конструкция модулей в разрезе представлена на [Рис. 2].

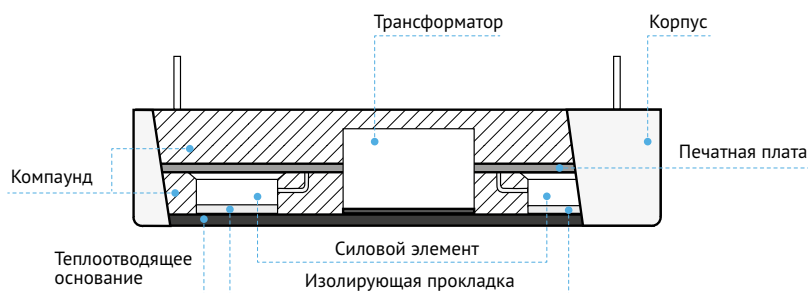


Рис. 2. Эскиз модуля в разрезе.

Толщина стенки теплоотводящего основания варьируется от 0,85 до 1,05 мм [Табл. 2] в зависимости от типоразмера корпуса. Покрытием корпуса является материал Мд. Окс. 30 кст. тв. Это микродуговое оксидирование толщиной 30 мкм, стойкое к воздействию кислот и щелочей. Покрытие позволяет защитить корпус от внешних агрессивных сред, таких как повышенная влажность, атмосферные конденсированные осадки (иней, роса). Однако, при использовании модулей в среде соляного тумана покрытие рекомендуется защищать двумя слоями лака, например, Plastik-70. Также покрытие допускает промывку спиртобензиновой смесью.

При установке модуля на теплоотводящую поверхность или радиатор следует использовать теплопроводящую пасту. Толщина слоя пасты должна быть минимальной с учетом неплоскостности теплоотводящего основания [Табл. 2]. Рекомендуемая марка пасты SE-4490-CV фирмы Dow Corning.

Типоразмер	MDV8	MDV12	MDV25	MDV50	MDV80	MDV160	MDV500	MDV1000
Толщина основания, мм	0,85 ^{-0,25}	0,85 ^{-0,25}	0,85 ^{-0,25}	0,85 ^{-0,25}	1,05 ^{-0,25}	1,05 ^{-0,25}	1,05 ^{-0,25}	1,05 ^{-0,25}
Неплоскостность основания модуля, мм	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Табл. 2. Параметры корпусов модулей.

Площадь поверхности теплоотвода зависит от ряда факторов: КПД модуля электропитания, атмосферного давления, силы прижима теплоотвода к поверхности модуля, материала и качества обработки поверхности теплоотвода, его положения в пространстве, наличия или отсутствия обдува теплоотвода и т. д.

В условиях механических воздействий модули в корпусах без фланцев рекомендуется клеить к печатной плате или элементам конструкции клеями-демпферами. Допускается наносить клей-демпфер на дно корпуса со стороны выводов. Допускается промывка поверхности модулей спиртобензиновой смесью.

Датчик температуры тепловой защиты модулей располагается внутри на теплоотводящем основании. При измерениях и испытаниях необходимо тщательно контролировать температуру корпуса модулей. Датчик температуры необходимо устанавливать в центр теплоотводящей поверхности, используя при этом теплоотводящую пасту.

3.1.3. Штырьевые выводы

В модулях применяются штырьевые выводы из латуни или бронзы с покрытием никель или олово. Пайку выводов рекомендуется производить электропаяльником мощностью не более 60 Вт при температуре не более 260 °С в течение не более 5 секунд на один вывод. Допускается пайка выводов не более трех раз на расстоянии не менее 0,5 мм от корпуса. Не допускается изгибать выводы при пайке. Пайку выводов рекомендуется осуществлять к печатным проводникам платы. Также допускается осуществлять навесной монтаж (пайку гибких проводов). В особых случаях допускается повышение температуры жала паяльника до 300 °С.

Длина штырьевых выводов относительно корпуса составляет минимум 6 мм.

ВНИМАНИЕ! Запрещается производить монтаж и подключение модулей к электрическим цепям, находящимся под напряжением!

Допускается:

- незначительная формовка;
- покрытие после пайки лаком любого типа, которые используются для покрытия паяных соединений, например, цапонлаком;

- обрезка выводов «КОРПУС», «ВКЛ», «РЕГ», «ПАРАЛ» заподлицо с поверхностью корпуса, если не ухудшается механическое крепление;
- обрезка остальных неиспользуемых выводов. При этом длина должна быть не менее 3 мм от поверхности корпуса.

Запрещается неоднократный изгиб, который может привести к поломке вывода. Обратите внимание, что выводы силовых цепей модуля в случае наличия нескольких дублирующих выводов, например, минуса выходной силовой цепи $-U_{\text{ВЫХ}}$, должны быть задействованы. Выводы функции обратной связи «ОС» допускается обрезать, но не выкусывать заподлицо. Функцию «ОС» использовать в схеме обязательно!

3.1.4. Экранирующая печатная плата

Модули серии MDV мощностью до 50 Вт в составе имеют экранирующую печатную плату, которая защищает внутренние элементы модуля от механических воздействий и также является экраном от излучаемых радиопомех.

Экранирующая плата изготавливается из материала FR4, имеет металлизацию и электрически соединена с выводом «КОРПУС». Плата паяется в специальных пазах корпуса. Между экранирующей печатной платой и внутренними элементами (компаундом) модуля допускается оставлять воздушную прослойку. Поскольку толщина платы небольшая, не следует прикладывать избыточное механическое давление на её поверхность. Для дополнительной механической прочности допускается фиксировать экранирующую печатную плату на основную печатную плату клеем-демпфером.

Для дополнительной фиксации некоторые выводы имеют опайку с экранирующей печатной платой. Опайка всех выводов является избыточной мерой, в связи с чем отсутствие опайки выводов не является браковочным признаком.

3.1.5. Компаунд

Все модули имеют кремнийорганическую полимерную защиту – герметизацию компаундом с теплопроводным наполнителем. Компаунд выступает в роли защиты для внутренних компонентов и в роли распределителя тепла по всему внутреннему объёму. Цвет и механические свойства компаунда в различных партиях могут отличаться. Но использование разных типов компаундов не влияет на электрические и массогабаритные показатели готового модуля.

При входном контроле следует проверить качество и целостность покрытия, целостность конструкции, мест крепления, а также отсутствие вмятин, трещин, следов коррозии на внешних поверхностях.

Допускается выступление индуктивных элементов на поверхности компаунда. Это не является браковочным признаком, т. к. на их поверхности есть тонкий слой компаунда, достаточный для обеспечения теплового режима и стойкости к внешним воздействующим факторам.

3.2. Топология печатной платы

Необходимо обращать внимание на правильность разводки печатных плат и подключения объёмных проводников в соответствии с [Рис. 3] и [Рис. 4].

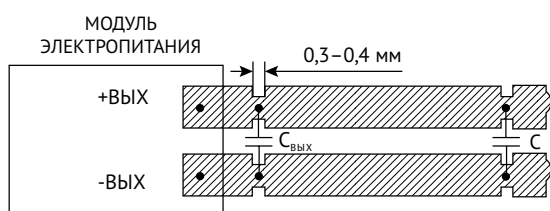


Рис. 3. Пример правильной разводки проводников печатной платы.

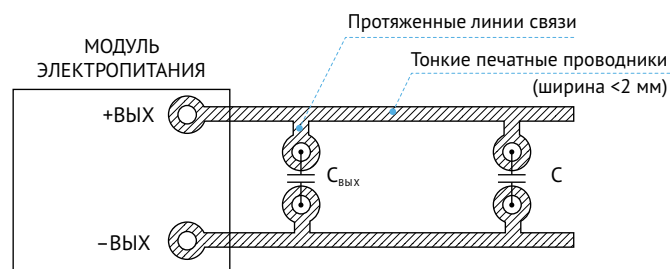


Рис. 4. Пример неправильной разводки проводников печатной платы.

В случае обоснованной необходимости заземление корпуса модуля электропитания через вывод «КОРПУС» должно осуществляться с помощью объёмного проводника. Сечение объёмного проводника должно быть $1,5–2 \text{ мм}^2$, длина не более 60 мм.

В случае применения модулей электропитания в аппаратуре, чувствительной к импульсным помехам, необходимо строго придерживаться рекомендуемой топологии. На [Рис. 5] показан пример рекомендуемой топологии печатной платы для одноканального модуля электропитания MDV6 по типовой схеме подключения.

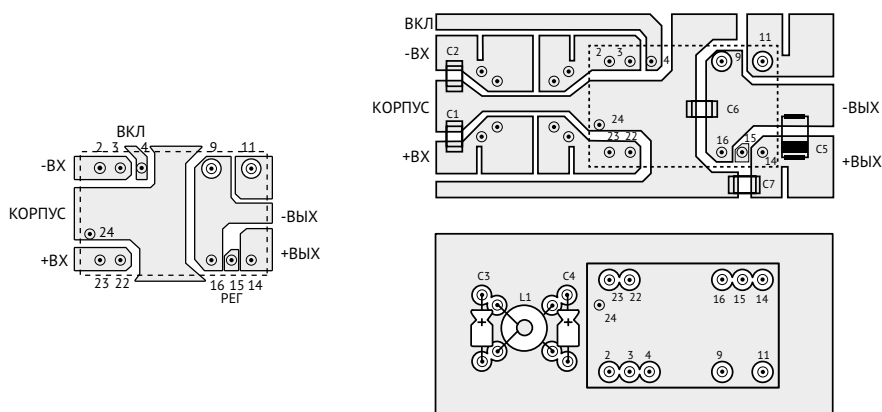


Рис. 5. Пример рекомендуемой топологии на примере одноканального модуля электропитания MDV6 по типовой схеме подключения. Слева: пример топологии печатной платы в зоне установки модуля электропитания. Справа: пример топологии печатной платы с расположением элементов внешнего фильтра и конфигурацией печатных проводников для улучшения параметров ЭМС.

3.3. Схемотехника

В данном разделе документа показаны основные функциональные узлы преобразователей серии MDV и MDVH.

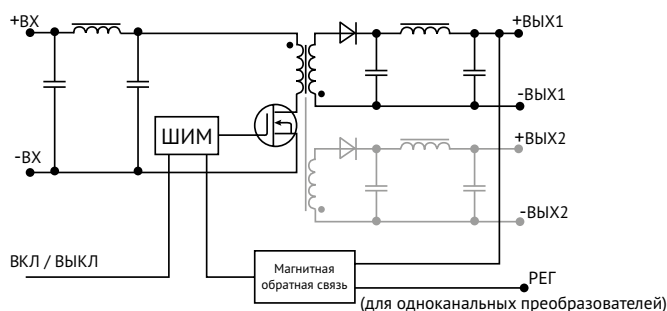


Рис. 6. FB – flyback. Обратногоходовой преобразователь.

Топология обратноходового преобразователя [Рис. 6] за счет относительно небольшого количества компонентов является недорогим решением преобразования напряжения, где требуется гальваническая развязка. Обратный преобразователь используется при малой мощности из-за низкого входного напряжения и высоких пульсирующих токов.

По данной топологии изготавливаются модули серии:

- MDV мощностью до 50 Вт включительно;
- MDVH мощностью до 40 Вт.

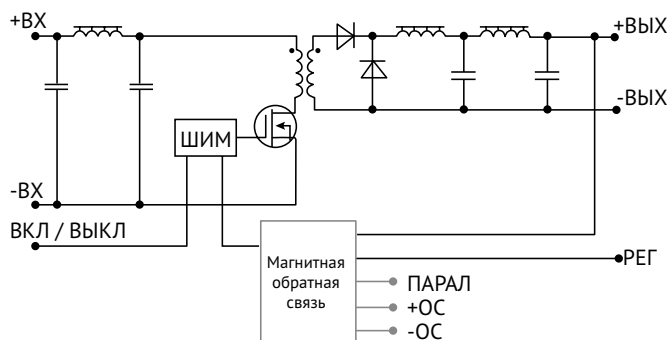


Рис. 7. FW – forward. Прямоходовой преобразователь.

Прямоходовые преобразователи [Рис. 7] в своих различных вариациях (однотактный, двухтактный и другие) используют, в основном, на мощностях до 500 Вт. Эта топология использует два основных магнитных компонента: трансформатор и выходной дроссель. Передача энергии на вторичную сторону и на нагрузку происходит во время включения переключающего элемента.

По данной топологии изготавливаются модули серии:

- MDV мощностью от 60 до 1000 Вт;
- MDVH мощностью от 40 до 320 Вт.

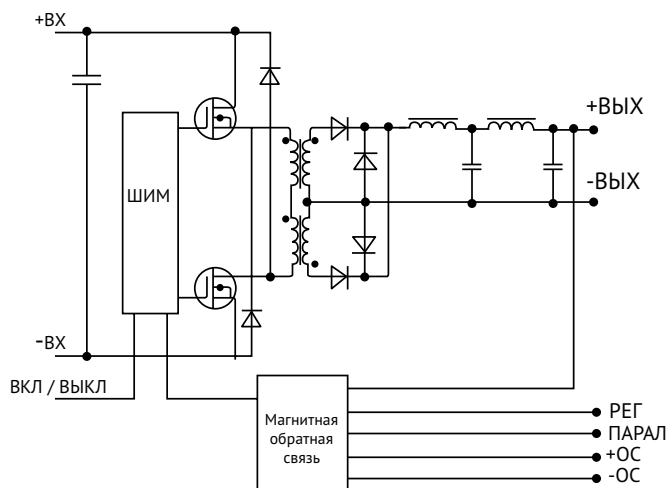


Рис. 8. HB — haif-bridge. Полумостовой преобразователь.

Топология полумостового преобразователя [Рис. 8] применяется для выходной мощности до 1000 Вт. Эта топология также использует два основных магнитных компонента — трансформатор и выходной дроссель, но в этом случае по сравнению с прямоходовым преобразователем более эффективно используется сердечник трансформатора. Переключающие элементы работают независимо друг от друга с промежутком времени паузы, в момент которой переключается первичный трансформатор.

Энергия передается на вторичную сторону и на нагрузку во время каждого переключения, используя разделенную вторичную обмотку. Это дает дополнительное преимущество удвоения частоты коммутации на вторичной обмотке, что помогает уменьшить объем выходного дросселя и конденсатора и вдвое уменьшить напряжение на каждом переключающем элементе.

По данной топологии изготавливаются модули серии MDVH мощностью от 320 до 1000 Вт.

Мощность, Вт	<25	25–50	50–320	320–500	>500
Серия					
MDV	FB	FB	FW	FW	FW
MDVH	—	FB	FW	HB	HB

Табл. 4. Топологии преобразователей^[1] серий MDV и MDVH.

FB — flyback (обратноходовой преобразователь).

FW — forward (прямоходовой преобразователь).

HB — haif-bridge (полумостовой преобразователь).

[1] Выходы двухканальных модулей имеют гальваническую развязку.

4. Типовая схема включения

Не секрет, что DC/DC преобразователи во многих случаях требуют наличия внешних элементов по цепям питания на входе и выходе. Обобщенно схема включения внешних элементов называется обвязкой. Типовая обвязка модуля внешними элементами служит как для обеспечения норм технической документации, так и для нормальной работоспособности самого модуля. Модули серии MDV также не стали исключением.

Этот раздел поможет понять:

- назначение элементов;
- какие элементы являются обязательными к установке;
- какие номиналы элементов рекомендуется устанавливать;
- рекомендации по расположению элементов на плате.

В данном разделе рассматривается только обвязка силовой линии. Схемы установки внешних элементов для реализации сервисных функций рассматриваются в разделе «№6. Сервисные и защитные функции» на странице 16.

4.1. Схема типовой обвязки

Типовая обвязка модулей серии MDV представлена на [Рис. 9]. Также на рисунке показана блок-схема А1, которая иллюстрирует основные внутренние элементы модуля.

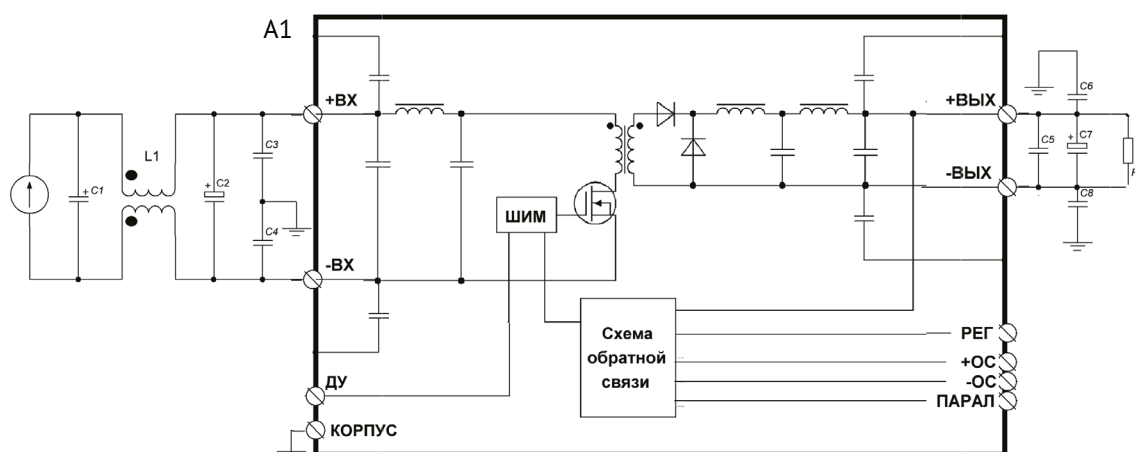


Рис. 9. Типовая обвязка одноканального модуля серии MDV.

По функциональному предназначению стоит выделить следующие элементы внешней обвязки:

- входной фильтр радиопомех синфазного вида;
- входной фильтр радиопомех дифференциального вида;
- входной накопительный конденсатор;
- выходной накопительный конденсатор;
- выходной фильтр радиопомех дифференциального вида.

Подробнее остановимся на каждом из элементов.

4.2. Входной накопительный конденсатор

Входной накопительный конденсатор [Рис. 10] устанавливается в непосредственной близости от DC/DC преобразователя и выполняет сразу несколько функций:

- элемент входного фильтра радиопомех;
- буферный накопитель между первичным источником и модулем.

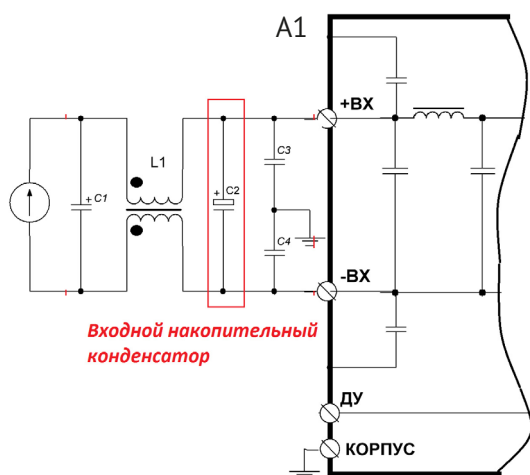


Рис. 10. Накопительный конденсатор C2 на входе модуля.

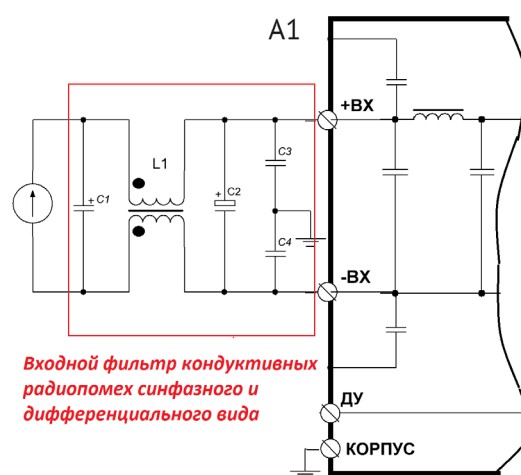


Рис. 11. Внешние элементы входного фильтра радиопомех.

Помимо функции подавления радиопомех, которая будет рассмотрена далее, конденсатор C2 также выполняет функцию обеспечения энергией при запуске и работе модуля. К примеру, при первичном запуске или изменении тока нагрузки модулю необходимо взять в короткий промежуток времени необходимую мощность. Отсутствие конденсатора необходимой емкости по входу приведет к просадке напряжения на входных выводах модуля и выходу за рабочий диапазон, или к увеличению нестабильности выходного напряжения. Исключение составляет случай, когда модуль питается от первичного источника, способного достаточно быстро выдать требуемую импульсную мощность. При этом линии связи между первичным источником и модулем не должны быть протяженными.

Также конденсатор C2 обеспечивает требуемый уровень пульсации входного напряжения от первичного источника. Максимальная амплитуда пульсации не должна превышать 7 % от $U_{\text{НОМ}}$.

В зависимости от мощности модуля и номинала входной сети рекомендуется минимальная величина емкости конденсатора. Для обеспечения работоспособности, например, при значительных провалах напряжения величину конденсатора C2 допускается увеличивать до неограниченного значения.

ВНИМАНИЕ! Конденсатор C2 является обязательным элементом и должен располагаться в непосредственной близости от модуля.

4.3. Входной фильтр радиопомех

Поскольку импульсный DC/DC преобразователь всегда является генератором радиопомех, то для защиты входной сети от воздействия кондуктивных радиопомех на входе модуля устанавливается фильтр радиопомех.

На [Рис. 11] представлены внешние элементы входного фильтра радиопомех. Элементы C1, L1, C2 влияют на подавление помехи дифференциального вида, которая распространяется по линиям питания по пути протекания силового тока. Элементы L1, C3, C4 влияют на подавление помехи синфазного вида, которая распространяется через паразитную емкость внутренних элементов модуля и корпус по цепи заземления.

Рекомендуемые типы элементов:

- C1, C2 — оксидно-полупроводниковые танталовые или керамические конденсаторы;
- L1 — синфазный дроссель с компенсацией токов;
- C3, C4 — керамические конденсаторы.

Номиналы элементов C1, C2 приведены в [Табл. 5].

	Номинальное значение входного напряжения, В					
	12		28		48	
Номинальн. выходная мощность, Вт	Керамический, C1, мкФ	Танталовый, C2, мкФ	Керамический, C1, мкФ	Танталовый, C2, мкФ	Керамический, C1, мкФ	Танталовый, C2, мкФ
	8	10–47	10–47	3,3–15	3,3–15	—
12	22–68	22–68	6,8–22	6,8–22	—	—
25	47–150	47–150	15–47	15–47	—	—
50	100–330	100–330	33–100	33–100	—	—
80	220–470	220–470	68–150	68–150	15–33	15–33
160	470–680	470–680	150–220	150–220	33–47	33–47
400	680–1500	680–1500	220–470	220–470	47–100	47–100
500	680–1500	680–1500	220–470	220–470	47–100	47–100
1000	1500–3300	1500–3000	470–1000	470–1000	100–220	100–220

Табл. 5. Параметры шунтирующих конденсаторов входной цепи.

Номинал индуктивности дросселя L1 должен составлять не менее 1 мГн для модулей мощностью до 60 Вт и не менее 0,7 мГн для модулей мощностью более 60 Вт. Номинал конденсаторов C3, C4 выбирается в диапазоне от 100 пФ до 4700 пФ. В составе модулей серии MDV также имеется внутренний фильтр радиопомех, поэтому внешний фильтр получается относительно компактным. Установка элементов C1, L1, C3, C4 носит рекомендательный характер и зависит от чувствительности первичного источника к радиопомехам или от требований стандартов, например, EN55022 или MIL-STD-416F. Применение внешнего входного фильтра радиопомех позволяет добиться норм вносимого затухания по классу A EN55022.

4.4. Входной и выходной фильтр радиопомех синфазного вида

Для обеспечения фильтрации радиопомех синфазного вида на входе и выходе модуля рекомендуется устанавливать керамические Y-конденсаторы с низким внутренним сопротивлением (Low ESR).

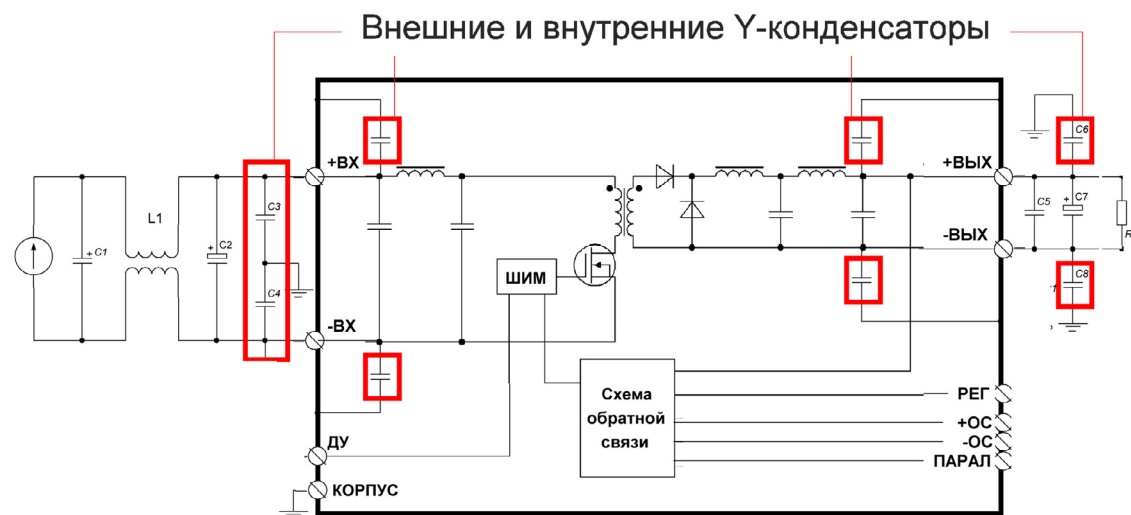


Рис. 12. Расположение Y-конденсаторов в модуле и внешней обвязке.

Наличие конденсаторов позволяет обеспечить нормы вносимого затухания по классу A стандарта EN55022 или нормы по ГОСТ 30429 в высокочастотной области (как правило, более 6 МГц).

Типовой номинал конденсаторов C3, C4 варьируется от 100 пФ до 4700 пФ, номиналы C6, C8 – 2200...4700 пФ. Однако, номиналы могут быть увеличены в зависимости от полученных результатов по измерению электромагнитной совместимости. Внутри модулей серии MDV имеются Y-конденсаторы, поэтому установка C3, C4, C6, C8, а также подключение вывода «КОРПУС», который также оказывает большое влияние на картину радиопомех, носит рекомендательный характер. Y-конденсаторы рекомендуется устанавливать максимально близко к соответствующим силовым выводам модуля.

4.5. Выходная емкость

Для обеспечения требуемой величины переходного отклонения выходного напряжения на выход модуля устанавливается конденсатор C7, который шунтируется керамическим конденсатором C5 емкостью 0,1–1 мкФ.

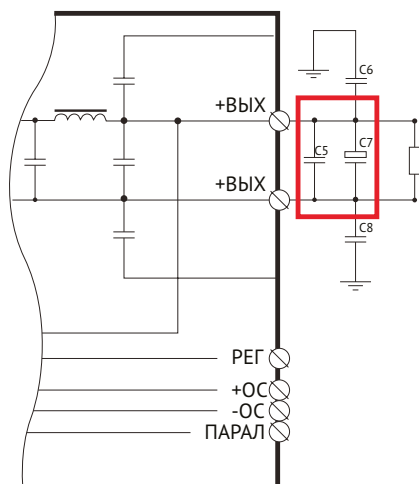


Рис. 13. Конденсаторы на выходе модуля.

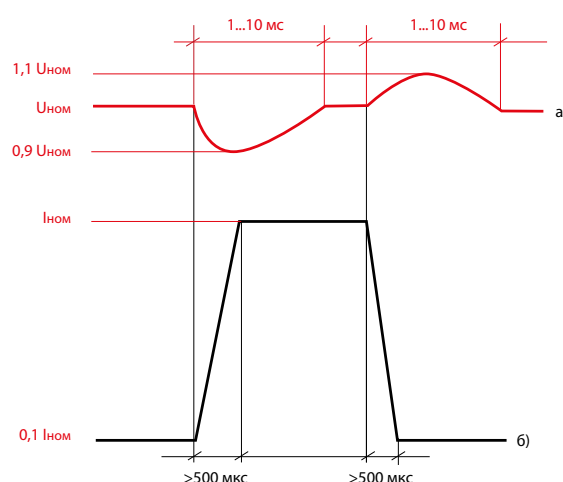


Рис. 14. Переходное отклонение выходного напряжения при импульсной нагрузке, где: а — выходное напряжение, б — ток нагрузки.

Очевидно, что быстродействие обратной связи модуля ограничено. Поэтому между модулем и быстро изменяющейся (динамической или импульсной) нагрузкой включают буферный накопитель, способный в короткий промежуток времени отдать некоторую величину импульсной мощности, пока преобразователь не успел среагировать.

Величина провала выходного напряжения при набросе нагрузки и выброса напряжения при сбросе называется величиной переходного отклонения выходного напряжения. В документации на модули серии MDV величина переходного отклонения нормируется следующим образом: при установке минимально необходимого номинала конденсатора C7 переходное отклонение будет составлять не более $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ в случае, если диапазон изменения нагрузки составляет от $0,1 \times I_{ном}$ до $I_{ном}$ или менее. При этом длительность фронта изменения нагрузки не должна быть менее 500 мкс. Пример изменения выходного напряжения при импульсной нагрузке показан на [Рис. 14].

Номинал конденсатора зависит от величины $U_{ном}$, мощности модуля и приводится в технических условиях. Также в документации приводится максимальное значение емкости конденсатора C7 ($C_{макс}$ в [Табл. 7]), на которое модуль способен запуститься. Однако, стоит иметь ввиду, что эта величина привязана ко времени выхода модуля на режим и может быть увеличена в несколько раз.

Запуск модуля на сверхбольшую емкость также ограничивается потреблением постоянного тока нагрузкой (I_H). Чем оно ниже, тем большую емкость можно подключить на выход. На [Рис. 15] показаны режимы работы, когда модуль запускается на большую емкость с подключенным низким I_H (слева) и чрезмерно высоким I_H (справа).

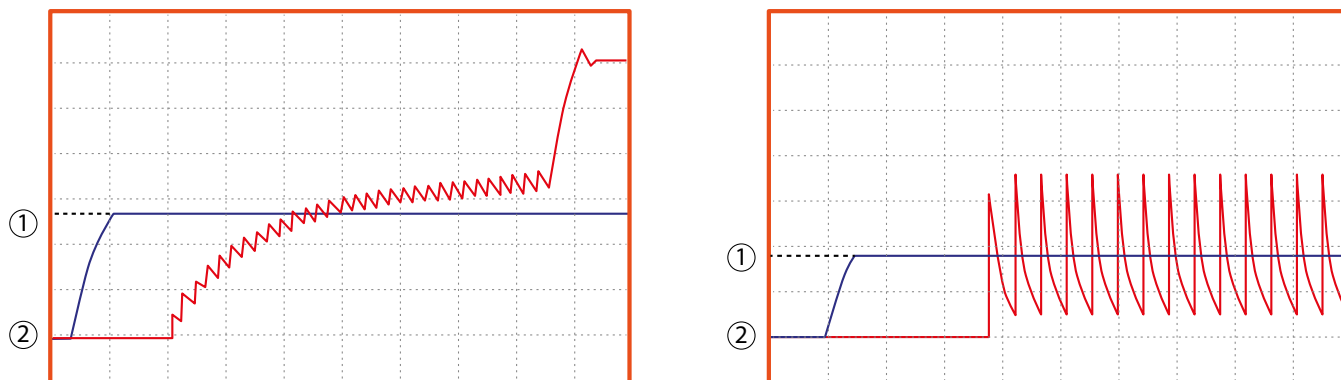


Рис. 15. Осциллограммы запуск модуля на большую емкость с низким I_H (слева) и высоким I_H (справа), где: красный луч (2) — выходное напряжение, синий луч (1) — входное напряжение.

В модулях серии MDV замечено, что величина максимальной выходной емкости зависит от величины входного напряжения. Чем больше номинал входного напряжения, при котором происходит включение модуля, тем больший номинал выходной емкости возможно установить.

Пример:

MDV15-1B12; $I_{\text{НАГР}} = 0,4 \times I_{\text{НОМ}}$ ($I_{\text{ВЫХ}} = 0,5 \text{ A}$); $C_{\text{МАКС}} = 130 \text{ мкФ}$; НКУ

- При $U_{\text{ВХ}} = 18 \text{ В}$ значение $C_{\text{ВЫХ}}$ составит 810 мкФ;
- при $U_{\text{ВХ}} = 28 \text{ В}$ значение $C_{\text{ВЫХ}}$ составит 6100 мкФ;
- при $U_{\text{ВХ}} = 36 \text{ В}$ значение $C_{\text{ВЫХ}}$ составит 9700 мкФ.

Также конденсатор С7 помогает держать стабильность выходного напряжения при резком изменении входного напряжения. Наличие конденсатора С7 носит рекомендательный характер. Величина выходной емкости зависит от мощности модуля и номинала выходного напряжения. Значения представлены в [Табл. 6].

Конденсатор	MDV8	MDV12	MDV25	MDV50	MDV80	MDV160	MDV500	MDV1000
С7, мкФ	0,47–1	1–1,5	1,5–2,2	2,2–3,3	3,3–4,7	4,7–6,8	10–33	22–100

Табл. 6. Минимальная рекомендуемая ёмкость выходных шунтирующих конденсаторов.

		Номинальное значение выходного напряжения, В							
		$\geq 3 \dots \leq 6$		$> 6 \dots \leq 15$		$> 15 \dots \leq 28$		$> 28 \dots \leq 68$	
		$C_{\text{ВЫХ}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{МАКС}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{ВЫХ}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{МАКС}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{ВЫХ}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{МАКС}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{ВЫХ}}, \text{мкФ}$	$C_{\text{МАКС}}, \text{мкФ}$
Номинал выходной мощности, Вт	8	250	500	25	50	10	20	4	10
	12	385	770	40	80	12	30	5	15
	25	450	1300	50	130	15	40	6	20
	50	900	2700	85	250	20	55	8	27
	80	1275	5100	100	400	25	75	10	35
	160	2500	10000	150	600	30	100	13	50
	500	—	—	250	1000	38	150	18	70
	1000	—	—	—	—	65	250	25	100

Табл. 7. Минимальная и максимальная суммарная ёмкость шунтирующих конденсаторов.

В [Табл. 7] представлены максимальные суммарные ёмкости выходных шунтирующих конденсаторов, где:

- $C_{\text{ВЫХ}}$ — максимальная ёмкость при которой обеспечиваются параметры времени запуска модуля;
- $C_{\text{МАКС}}$ — при которой происходит запуск модуля.

Значение $C_{\text{МАКС}}$ не является пограничным и сильно зависит от входного напряжения, выходного тока, а также типа конденсаторов и может составлять большее значение в зависимости от внешних условий.

5. Наращивание мощности DC/DC преобразователей

Мощность унифицированных преобразователей напряжения (модулей электропитания) ограничена выходным током и напряжением. Для наращивания мощности возможно воспользоваться параллельным или последовательным соединением преобразователей по выходным цепям. Преобразователи «АЕДОН» обладают рядом преимуществ, таких как встроенная функция активного выравнивания выходной мощности при работе на общую нагрузку и гальваническая развязка выходных каналов. Эти свойства позволяют конфигурировать мощные низкопрофильные системы электропитания со стандартными и нестандартными номиналами выходных напряжений и выходным током до 140 А.

5.1. Параллельное включение преобразователей по выходу

Параллельное включение необходимо для наращивания выходной мощности путем увеличения количества работающих преобразователей. Каждый из преобразователей работает с нагрузкой по отдельной линии питания и обеспечивает часть общей мощности системы.

При построении системы электропитания, в которой преобразователи включаются параллельно на общую нагрузку, разработчик аппаратуры сталкивается с проблемой выравнивания потребляемой из сети мощности и, как следствие, перегрева и выхода преобразователей из строя.

Для облегчения данной задачи в преобразователях «АЕДОН» присутствует функция «ПАРАЛ», которая позволяет нескольким параллельно включенным преобразователям поровну распределять мощность без каких-либо дополнительных внешних цепей, не опасаясь перекоса мощности. Максимальный перекося мощности между модулями при соблюдении изложенных рекомендаций составит не более 15 %.

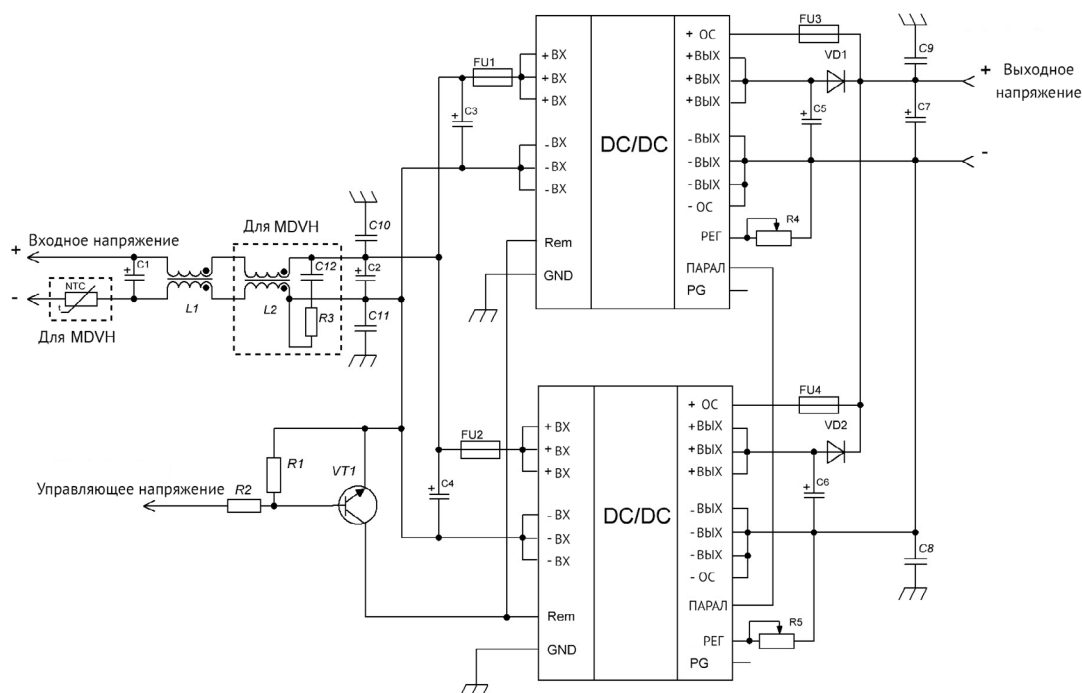


Рис. 16. Пример типового включения 2-х преобразователей МДМ1000 с функцией параллельной работы.

На [Рис. 16] приведена типовая схема параллельного включения двух DC/DC преобразователей МДМ1000. При этом номинальная мощность такой схемы потенциально равна 2000 Вт. Рассмотрим каждый из элементов схемы более подробно.

Типовая схема преобразователя начинается с входного фильтра радиопомех. При этом все (кроме серий MDA, MDVN, MDN) преобразователи компании «АЕДОН» имеют внутренний входной и выходной пассивный одно- или двухзвенный П-фильтр (в зависимости от серии). В сериях МДМ-П, МДМ-В, МДМ-Р, где имеется функция параллельной работы, также присутствует внутренний фильтр радиопомех. Однако, для чувствительной к радиопомехам аппаратуры, в состав

которой входят преобразователи напряжения, а также для соответствия аппаратуры стандартам по электромагнитной совместимости, мы рекомендуем устанавливать внешний фильтр радиопомех по входу питающей сети.

Предохранители FU1 и FU2 «отсекают» от первичной цепи преобразователь, у которого выросло потребление по входной сети. В большинстве случаев — это следствие выхода преобразователя из строя. В некоторых случаях — некорректный выбор предохранителя.

VT1, R1, R2 — цепь дистанционного управления по выводу «ВКЛ». При параллельном включении возможно использовать общий ключевой элемент (транзистор, оптрон, механическое реле).

VD1, VD2 — развязывающие диоды с минимальным прямым падением напряжения (например, Шоттки). Установка диодов необходима для обеспечения развязки между выходными цепями модулей. В случае выхода из строя диод не позволит работающим преобразователям переключиться с нагрузки на выход неисправного модуля. Кроме того, диоды являются элементами, обеспечивающими согласованный запуск всех модулей в системе. Если бы диодов не было, то модуль, который начнет выходить на режим раньше других, будет работать не только на нагрузку, но и на выходные цепи модулей. Как следствие, возможен эффект «икания» выходного напряжения запоздавшего модуля или полное отсутствие выходного напряжения. Максимальное обратное напряжение диодов должно быть в 1,5–2 раза больше, чем номинальное выходное напряжение модулей. Максимальный прямой ток диодов должен минимум в два раза превосходить номинальный выходной ток одного модуля.

Предохранители FU1, FU2 обеспечивают отключение цепи +ОС и –ОС (цепи обратной связи для компенсации падения напряжения на развязывающих диодах и/или протяженных линиях связи) в случае обрыва силовой выходной цепи (обрыв силового провода). Если предохранители не устанавливать, модуль будет пытаться обеспечить номинальную мощность через сигнальную цепь ОС с максимальным током 125 мА. Это неизбежно приведет к выходу из строя. Рекомендуется устанавливать предохранители с током не менее 0,1–0,125 А.

Для подключения модулей параллельно, помимо элементов внешней обвязки, необходимо соединить выводы «ПАРАЛ» между собой. Напряжение на выводе «ПАРАЛ» относительно «–ВЫХ» должно находиться в диапазоне 1,8–2,2 В.

Кроме всего прочего, необходимо соблюдать ряд нижеследующих требований и рекомендаций:

1. Рекомендованный коэффициент загрузки преобразователя равен 0,7. Подсчитать суммарную мощность системы можно по формуле:

$$P_{\text{сумм}} = 0,7 \times N \times P_{\text{макс}}$$

- где 0,7 — рекомендуемый коэффициент загрузки,
- N — количество модулей, включаемых параллельно,
- $P_{\text{макс}}$ — максимальная выходная мощность модуля, Вт.

То есть, при использовании двух модулей по 1000 Вт максимальная выходная мощность системы составит 1400 Вт.

Значение коэффициента можно повысить при испытании модулей в аппаратуре. Также допускается кратковременная (до нескольких минут) работа на номинальную мощность (для нашего примера — 2000 Вт). По особому согласованию с изготовителем возможно увеличение коэффициента до 0,9.

2. Модули электропитания должны располагаться в непосредственной близости друг от друга.
3. Проводники, соединяющие выходные цепи модулей со сборными шинами должны быть одинаковыми, минимальной длины и большого сечения. При этом особое внимание следует обратить на «минусовые» выходы модулей электропитания. Подключение в «минусовые» выходные цепи разделительных диодов и токоизмерительных резисторов не допускается.
4. Допускается подключать выводы обратной связи как с каждого модуля на общую нагрузку, так и с одного «ведущего» модуля. Если выводы обратной связи не используются, их необходимо закоротить на выходные силовые цепи соответствующей полярности («+ОС» соединить с «+ВЫХ», «–ОС» с «–ВЫХ»).
5. Амперметры для контроля равномерного распределения мощности по модулям электропитания рекомендуется включать во входные цепи модулей.
6. Сборные шины должны проходить в непосредственной близости от выходных выводов модуля и иметь сечение в N раз большее, чем проводники, соединяющие модули с шиной, где N — количество модулей, включенных параллельно.
7. Соединение сборных шин с нагрузкой должно находиться в средней части шин.

Параллельно могут быть включены до 10 модулей, что было подтверждено в ходе испытаний

5.2. Последовательное включение по выходным цепям

Часто при проектировании и разработке систем электропитания аппаратуры возникают потребность в нестандартных и высоковольтных выходных напряжениях у DC/DC преобразователей. Не всегда поиск специализированного преобразователя может увенчаться успехом. В некоторых случаях оптимальным решением является подключение отдельных унифицированных преобразователей или нескольких каналов многоканальных преобразователей последовательно [Рис. 17].

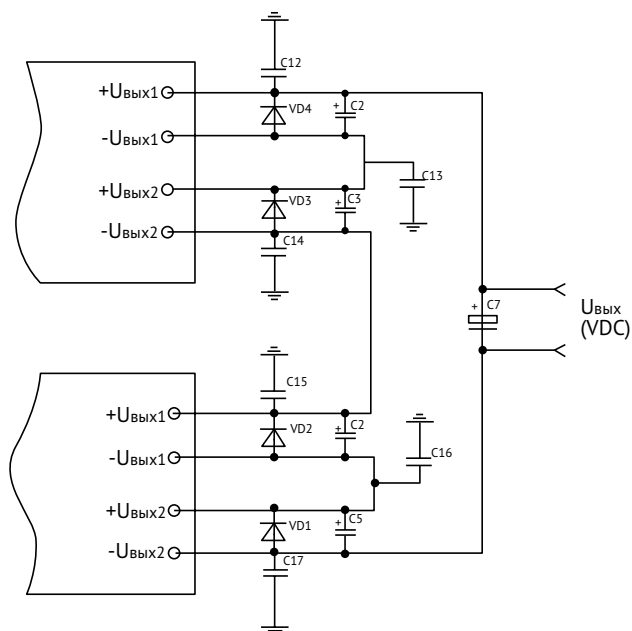


Рис. 17. Последовательное включение двух преобразователей с двумя выходными каналами.

В отличие от схемы параллельного включения при последовательном соединении выходных цепей модулей нет необходимости задействовать специальную функцию. Главное требование — наличие гальванической развязки выходных цепей преобразователя.

Все серии модулей имеют гальваническую развязку выходных цепей. Также, последовательно могут соединяться модули различной номинальной мощности и различных серий, в то время как параллельное включение предполагает использование идентичных модулей.

При последовательном подключении следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- для защиты всей системы при выходе из строя одного из преобразователей и в случае обрыва силовой линии необходимо шунтировать каждый канал преобразователя обратно включенными диодами;
- необходимо учитывать, чтобы ток нагрузки не превышал максимально допустимый ток каждого из модулей;
- пульсации, помехи и отклонения выходного напряжения каждого из модулей могут суммироваться.

Теоретически, последовательно может быть включено неограниченное число модулей. Однако, необходимо принимать во внимание, что суммарное напряжение не рекомендуется устанавливать выше значения прочности изоляции ВХОД/КОРПУС, ВЫХОД/КОРПУС с коэффициентом запаса 1,5.

5.3. Резервирование

Для систем с высоким уровнем надежности и с недопустимостью прерываний электропитания в обязательном порядке разрабатываются системы с резервированием части или всего комплекса электропитания. При этом резервирование осуществляется при питании как от одного, так и от разных первичных источников, с обязательным соединением на нагрузку [Рис. 18].

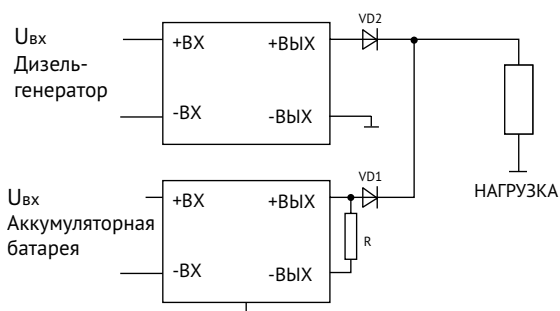


Рис. 18. Резервирование по разности выходных напряжений.

Необходимо, чтобы номинальное выходное напряжение резервного преобразователя было выставлено на уровне $0,95 U_{ном}$ с помощью регулировочного резистора R2. Для исключения взаимовлияния преобразователей, необходимо включить в положительные полюсы каждого из преобразователей разделительные диоды.

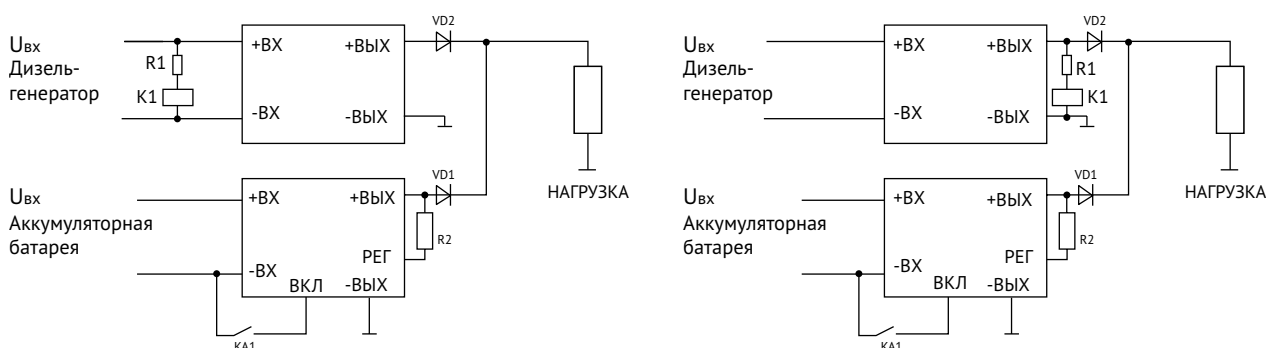


Рис. 19. Резервирование с управлением простейшей логикой. Слева: при пропадании первичной сети. Справа: при пропадании выходного напряжения преобразователя.

Пример реализации схемы резервирования показан на [Рис. 19]. В качестве ключевого элемента, обеспечивающего логику работы модулей, служит магнитное реле K1. При пропадании первичной сети дизель-генератора (слева) магнитное реле размыкает ключом KA1 цепь дистанционного управления преобразователя, и питание нагрузки осуществляет преобразователь, подключенный к аккумуляторной батарее.

При пропадании выходного напряжения (справа) преобразователя дизель-генератора, например, в связи с его выходом из строя, магнитное реле работает аналогично.

6. Сервисные и защитные функции

В этом разделе представлена информация по работе сервисных и защитных функций в составе преобразователей серии MDV.

К сервисным функциям относятся:

- регулировка выходного напряжения;
- выносная обратная связь по напряжению;
- диагностика выходного напряжения;
- дистанционное включение/выключение;
- параллельная работа с активным выравниванием мощности.

К защитным функциям относятся:

- защита от короткого замыкания на выходе;
- защита от перегрузки по выходному току;
- защита от перенапряжения по выходу;
- термозащита;
- защита от пониженного входного напряжения.

6.1. Сервисные функции

6.1.1. Регулировка выходного напряжения

Регулировка выходного напряжения модулей электропитания в диапазоне не менее $\pm 5\%$, имеющим вывод «РЕГ» может осуществляться, например, путем подключения вывода «РЕГ» через резистор к выводу «–ВЫХ» для увеличения выходного напряжения [Рис. 20] или к выводу «+ВЫХ» для уменьшения выходного напряжения [Рис. 21].

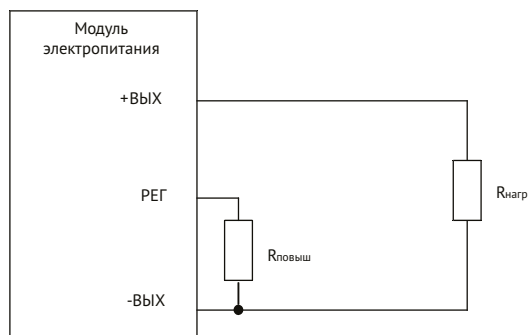


Рис. 20. Пример увеличения выходного напряжения

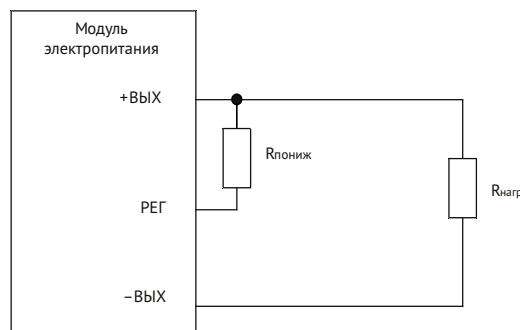


Рис. 21. Пример уменьшения выходного напряжения

Диапазон сопротивления резисторов зависит от типа модуля электропитания, его выходного напряжения и обычно указывается в паспорте на модуль.

График зависимости сопротивления подстроечного резистора вы можете найти в даташите на соответствующий модуль электропитания.

В случае необходимости управления выходным напряжением модуля электропитания сигналом внешнего источника тока или напряжения, например, в микроконтроллерных автоматизированных системах управления с помощью сигнала ЦАП, внешний сигнал тока или напряжения необходимо подавать на вывод регулировки относительно вывода «–ВЫХ», в соответствии с [Рис. 22] и [Рис. 23]:

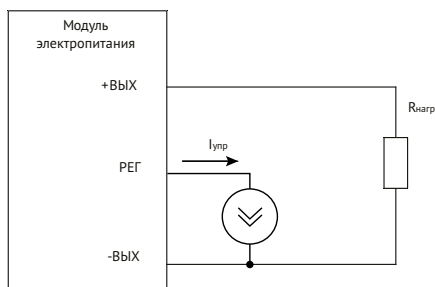


Рис. 22. Подключение внешнего источника тока для регулировки выходного напряжения модуля электропитания.

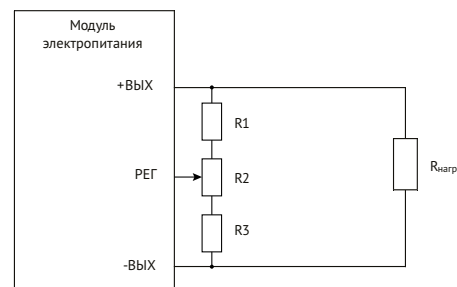


Рис. 24. Подключение внешних резисторов для регулировки выходного напряжения модуля электропитания как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

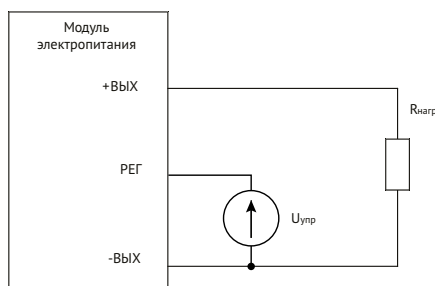


Рис. 23. Подключение внешнего источника напряжения для регулировки выходного напряжения модуля электропитания.

Номиналы резисторов делителя R1, R2, R3 следует выбирать такими, чтобы при перемещении движка R2 по схеме положения из верхнего в нижнее, напряжение $U_{\text{упр}}$ на выводе «РЕГ» изменялось от максимального до минимального для соответствующих минимального и максимального значений выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Кроме того, номиналы резисторов делителя не должны быть слишком большими, чтобы обеспечить втекающий или вытекающий ток $I_{\text{упр}}$.

При использовании функции регулировки выходного напряжения необходимо выполнять нижеследующие требования:

- Недопустимо использование модулей электропитания с выходным напряжением, выходящим за пределы, указанные в технической документации. Чрезмерное увеличение выходного напряжения может привести к перегрузкам выходных цепей модуля электропитания, а чрезмерное уменьшение — к нестабильному запуску модуля электропитания, что снижает надежность его работы.
- При увеличении выходного напряжения модуля электропитания максимальный выходной ток пропорционально снижается. Увеличение выходного тока при снижении выходного напряжения может привести к перегрузке выходных цепей модуля электропитания по току и к увеличению уровня пульсаций выходного напряжения. Например, для модуля электропитания мощностью 60 Вт с номинальным значением выходного напряжения 15 В и допустимым диапазоном регулирования выходного напряжения $\pm 5\%$ (14,25–15,75 В) выходной ток для крайних значений выходного напряжения составит 60 Вт / 15 В = 4 А и 60 Вт / 15,75 В = 3,8 А соответственно.
- Вывод регулировки «РЕГ» связан с электрическими цепями, обладающими высокой чувствительностью к помехам. При включенном модуле электропитания во избежание возбуждения схемы обратной связи модуля электропитания не допускается касание вывода регулировки руками, паяльником, или какое-либо другое воздействие, которое может вызвать наведение помех на этот вывод.
- При наличии протяженной цепи внешней регулировки рекомендуется соединять вывод «РЕГ» с выводом «–Вых» конденсатором емкостью не более 0,01 мкФ.

6.1.2. Выносная ОС

Точность установки выходного напряжения в точке подключения нагрузки часто имеет важное значение в режиме параллельной работы, для нагрузок с длинными линиями питания, для систем резервного питания с развязывающими диодами и для высокодинамичных электронных нагрузок. Обеспечить компенсацию падения напряжения на соединительных проводах и развязывающих диодах позволяет применение выносной обратной связи. Максимальная величина компенсации падения выходного напряжения не менее 5 % $U_{\text{вых}}$.

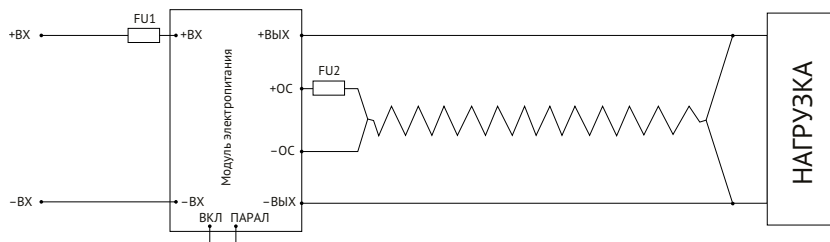


Рис. 25. Типовая схема включения функции ОС.

Типовая схема включения выносной ОС для системы электропитания с «длинными» линиями питания приведен на [Рис. 25].

Пример: При подключении модуля MDVH1000-1M27 потребитель измерил на выходе модуля 27В, а на нагрузке 26 В.

Подключение функции ОС поднимает выходное напряжение на модуле до 28 В (3,7%), выравнивая напряжение на нагрузке до 27В.

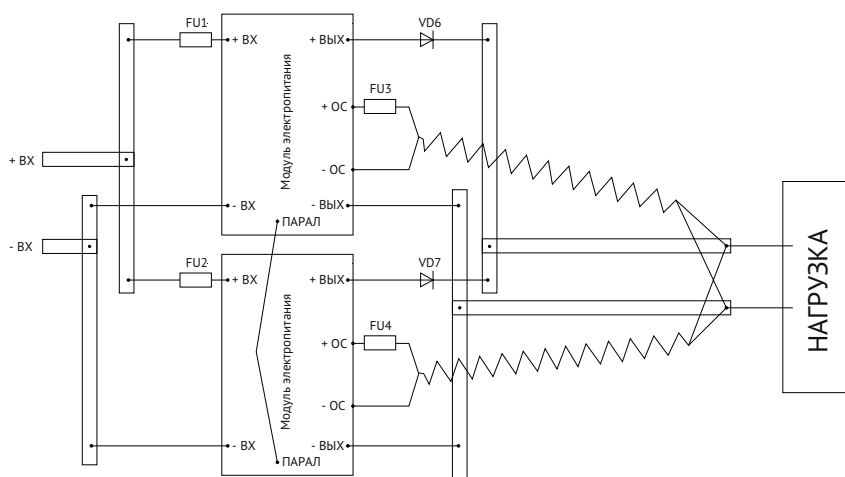


Рис. 26. Пример использования функции выносной ОС для параллельной работы.

Пример использования функции выносной ОС для параллельной работы приведен на [Рис. 26]. Более подробную информацию о возможности работы модулей в параллель на общую нагрузку можно найти в разделе «№5. Нарращивание мощности DC/DC преобразователей» на странице 12.

Для обеспечения лучшей помехозащищённости выводы «+ОС» и «-ОС» модулей электропитания рекомендуется подключать к нагрузке «витой парой» сечением не менее 0,1 мм².

Рекомендуется устанавливать предохранители на ток от 0,1 до 0,125 А в цепи выносной ОС для исключения выхода из строя цепей управления при обрыве цепи нагрузки (при включенных цепях выносной обратной связи). В случае, когда функция выносной ОС не используется, вывод «+ОС» необходимо напрямую соединить с выводом «+ВыХ», вывод «-ОС» необходимо напрямую соединить с выводом «-ВыХ». Оставлять не подключенными выводы «+ОС» и «-ОС» не допускается. Признаки обрыва (отсутствия подключения) функции «ОС» отмечены в [Табл. 19] аварийных режимов в конце главы.

ВНИМАНИЕ! При наличии функции выносной обратной связи её подключение обязательно!

6.1.3. Диагностика выходного напряжения для модулей MDV1000

В модулях электропитания серии MDV1000 предусматривается функция диагностики выходного напряжения. Данная функция позволяет контролировать выходное напряжение модуля электропитания по его отклонению на мониторе, который встроен в преобразователь. Принцип работы монитора заключается в том, что в случае отклонения выходного напряжения в пределах не превышающий $\pm 10\%$ от номинального значения выходного напряжения, на выводе «ДИАГ» устанавливается уровень напряжения равный 5,1 В. Если отклонение выходного напряжения превышает $\pm 10\%$ от номинального значения выходного напряжения, то на выводе «ДИАГ» устанавливается уровень напряжения не более 0,2 В. При этом максимальный втекающий ток не должен превышать 10 мА. В качестве микросхемы-компаратора (IC) используется микросхема LT6700.

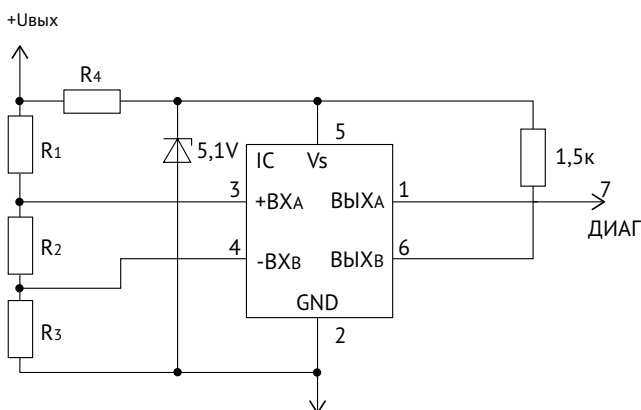


Рис. 27. Внутренняя схемотехника модуля для реализации функции «ДИАГ».

6.1.4. Дистанционное включение/выключение

Выключение модулей электропитания MDV должно осуществляться соединением вывода «ВКЛ» с выводом «-ВХ». Дистанционное выключение/включение может осуществляться с помощью механического реле или электрического ключа типа «разомкнутый коллектор». При этом через ключ может протекать ток до 5 мА, а максимальное падение напряжения на ключе должно быть не более 1,1 В. Включение модуля электропитания осуществляется размыканием ключа. В разомкнутом состоянии к ключу приложено напряжение до 7 В, допустимая утечка тока через ключ не должна превышать 50 мкА.

При организации дистанционного включения-выключения одновременно нескольких модулей электропитания не допускается установка дополнительных элементов в цепи, соединяющие выводы «ВКЛ», «-ВХ» и коммутирующий ключ. Если функция дистанционного выключения/включения не используется, вывод «ВКЛ» допускается оставить не подключенным.

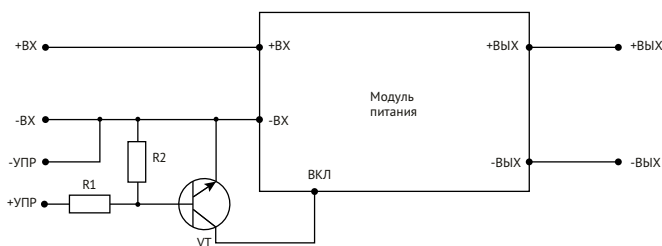


Рис. 28. Пример схемы реализации функции дистанционного выключения/включения.

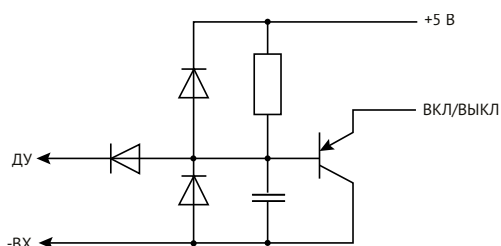


Рис. 29. Внутренняя схемотехника модуля для реализации функции ДУ.

Некоторые варианты применения ДУ в серии MDV представлены на [Рис. 30].

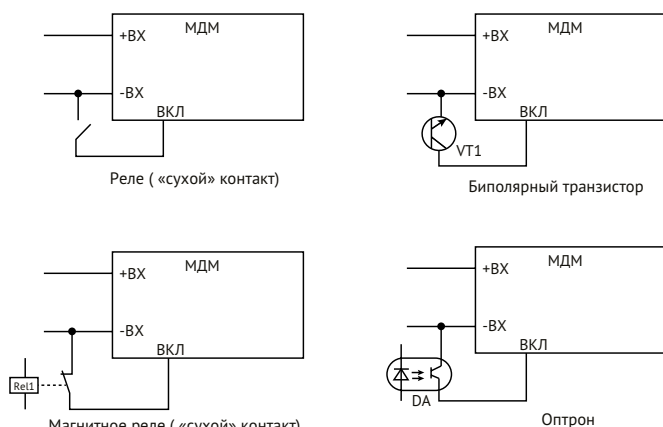


Рис. 30. Некоторые варианты реализации функции ДУ.

6.2. Комплекс защит^[2]

6.2.1. Защита от перегрузки по выходному току

Модули электропитания имеют защиту от перегрузки по выходному току. При превышении выходным током максимального допустимого значения срабатывает защита от перегрузки, и выходное напряжение модуля начинает уменьшаться.

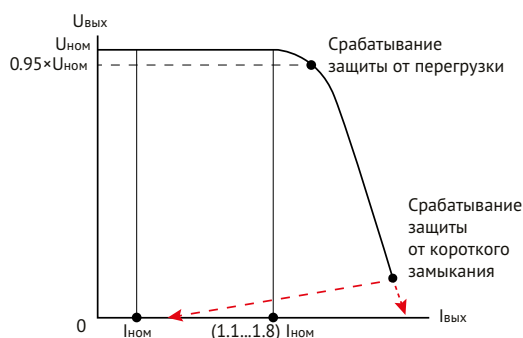


Рис. 31. Типовая вольт-амперная характеристика при срабатывании защиты от перегрузки по выходному току (ОСР) и «коротком замыкании» (SCP).

За начало срабатывания защиты по току принимается такое значение выходного тока, при котором происходит снижение выходного напряжения проверяемого канала на 5 %. Настройку коэффициента защиты от перегрузки по выходному току и короткого замыкания проводят в НКУ, при минимальном входном напряжении и максимальном выходном токе одноканальных модулей и всех каналов многоканальных модулей. Коэффициент защиты от перегрузки по току может иметь значения 1,1–1,8 и настраивается в процессе изготовления модулей. По запросу на завод-изготовитель возможна настройка коэффициента срабатывания в указанных пределах под нужды потребителя. Допустимая продолжительность работы модулей с выходным током выше номинального в зависимости от номинальной мощности модуля и климатических условий составляет не более 10 секунд.

6.2.2. Защита от короткого замыкания

Для предотвращения выхода из строя модуля электропитания в режиме короткого замыкания любого из каналов выходного напряжения в модулях электропитания предусматривается функция защиты от короткого замыкания (SCP). При замыкании любого из каналов выходного напряжения модуль электропитания переходит в режим защиты с повторно-кратковременным включением (Hiccup). Пример защиты приведен на [Рис. 32].

[2] В модулях нет защит от переплюсовки и перенапряжения по входу, а также функции soft-start (плавный пуск).

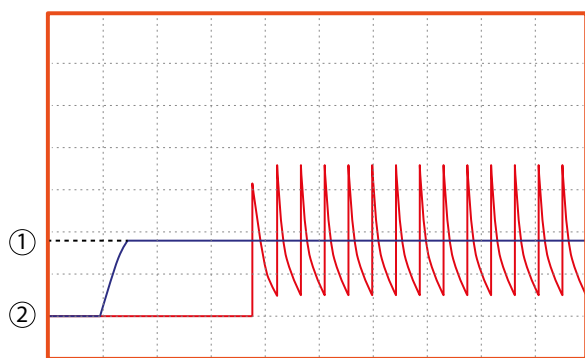


Рис. 32. Осциллограмма срабатывания защиты от короткого замыкания модуля MDV15-1B12. Синий луч (1) – входное напряжение, красный луч (2) – выходное напряжение.

При выходе из аварийного режима модуль электропитания автоматически возобновляет работоспособность с сохранением качества выходного напряжения. Длительная работа в режиме срабатывания защиты от короткого замыкания не рекомендуется.

6.2.3. Термозащита

Схема термозащиты предохраняет от отказа источник электропитания при превышении предельной рабочей температуры, вызванной саморазогревом источника электропитания. Датчик термозащиты физически расположен у основания модуля или на длинной боковой стороне, при принудительном конвекционном способе охлаждения модуля важно организовать обдув теплоотвода без локального охлаждения места установки датчика термозащиты. Внутренний датчик схемы термозащиты срабатывает при превышении максимально допустимого верхнего порога температуры от 0 до 10 градусов (типовое значение) и переводит источник питания в режим пониженного энергопотребления с отключением выходного напряжения. При понижении температуры до уровня рабочего температурного диапазона модуль электропитания выходит из режима защиты с восстановлением качества выходного напряжения согласно нормам ТУ.

6.2.4. Защита от перенапряжения на выходе

В модулях присутствует функционал, не допускающий в случае неисправности модуля превышения выходного напряжения. При выходе внутренней обратной связи из строя модуль ограничит выходное напряжение не более чем на $1,5 \times U_{\text{ном}}$, где $U_{\text{ном}}$ – номинальное выходное напряжение канала.

7. Методы измерения КПД

Во многих отраслях электронного приборостроения вопрос экономии энергии является важным.

В документации производителей DC/DC преобразователей можно встретить как типовое значение КПД, измеренное в одной точке, так и графики зависимости КПД, например, от выходной мощности и входной сети. Однако, к цифрам стоит относиться скептически, если не обозначена методика измерения.

Представим, что потребляемая преобразователем мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{Общ}} = U_{\text{Вх}} \times I_{\text{Вх}} \text{ (AVG) (1)}$$

Стоит отметить, что, как правило, используется среднее значение входного тока. Также, полная потребляемая мощность определяется как сумма выходной мощности $P_{\text{НАГР}}$ и мощности $P_{\text{РАСС}}$, преобразуемой в тепло (рассеиваемой) в процессе работы (2), или как отношение выходной мощности к величине КПД (3):

$$P_{\text{Общ}} = P_{\text{НАГР}} + P_{\text{РАСС}} \text{ (2)}$$

$$P_{\text{Общ}} = P_{\text{НАГР}} / \eta \text{ (3)}$$

Расчет выходной мощности (4) не вызывает трудности, поскольку значения выходного тока и выходного напряжения постоянны:

$$P_{\text{НАГР}} = U_{\text{ВЫХ}} \times I_{\text{ВЫХ}} \text{ (4)}$$

Измерение потребляемой (входной) мощности $P_{\text{Общ}}$ вызывает трудность: входное напряжение имеет постоянное значение, а входной ток — нет. Если при измерении используются, например, токовые клещи, бюджетные цифровые вольтамперметры и осциллографы с кольцами Роговского (Rogowski coil), то полученное по формуле (1) значение $P_{\text{Общ}}$ окажется неточным.



Рис. 33. Метод измерения входного тока зависит от выбора измерительного оборудования.

Для более точного измерения среднего значения потребляемого из сети тока следует использовать токовый шунт со схемой интегрирования входного сигнала [Рис. 34].

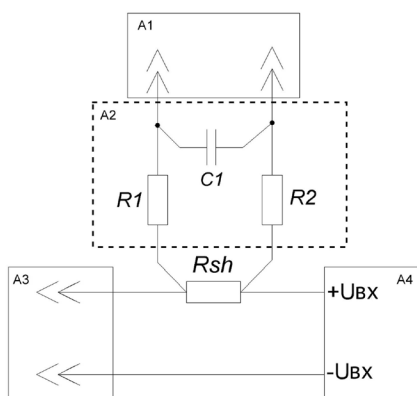


Рис. 34. Измерение входного тока через токовый шунт со схемой интеграции входного сигнала. A1 – цифровой милливольтметр с высокой степенью точности. A2 – печатная плата со схемой интегрирования. A3 – источник питания постоянного тока. A4 – DC/DC преобразователь.

Стоит отметить, что печатная плата со схемой интегрирования должна располагаться в непосредственной близости от клемм цифрового милливольтметра. Токовый шунт R_{SH} должен иметь минимальную погрешность (высокий класс точности). Чем выше номинальное падение напряжения шунта и меньше номинальный ток, тем более точные цифры удастся получить. Номиналы элементов: $R1, R2$ – 1...5 кОм, $C1$ – 10...30 нФ (тип – пленочный).

Также для получения точных значений среднего входного тока между источником питания и входом DC/DC преобразователя можно установить LC-фильтр ($L1, C2$ на [Рис. 35]), который сгладит форму тока до постоянного значения.

LC-фильтр ликвидирует высокочастотные всплески, которые вносят в процесс измерения погрешность и усредняет входной ток. Поскольку со стороны DC/DC преобразователя в сторону источника питания LC-фильтр представляет собой цепь с высоким импедансом, необходимо поставить на входе преобразователя конденсатор $C1$ с низким последовательным сопротивлением (Low-ESR).

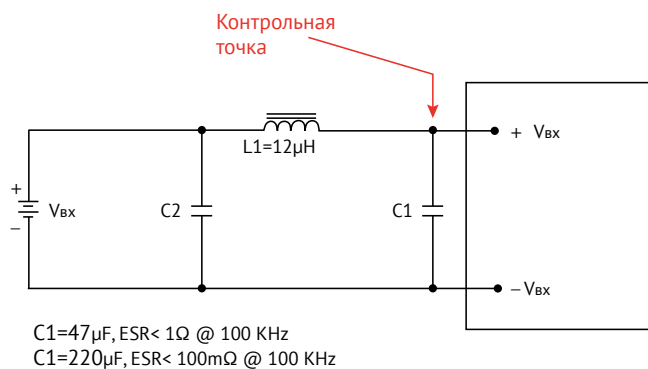


Рис. 35. Пример измерения входного тока с внешним LC-фильтром.

Некоторые советы по корректному измерению КПД:

1. Вольтметры и амперметры, используемые для измерения КПД должны обеспечивать индикацию не менее чем четырёх значащих разрядов.
2. Обязательно проверять вольтметры подключением вторых вольтметров параллельно, проверять амперметры включением вторых амперметров последовательно (производить калибровку средств измерения).
3. Для расчета КПД необходимо фиксировать напряжение у основания входных и выходных штыревых контактов модуля. Не допускается измерять входное или выходное напряжение модуля до штыревого разъёмного соединения по входу или после штыревого разъёмного соединения по выходу.
4. Измерение КПД необходимо производить при минимальном, номинальном и максимальном входном напряжении.

8. Методы измерения пульсаций выходного напряжения

Импульсные DC/DC преобразователи имеют преимущество по массогабаритным характеристикам и более высокий КПД по сравнению с линейными регуляторами напряжения. Однако, из-за импульсного характера работы возникают периодические колебания выходного напряжения DC/DC преобразователя, называемые пульсациями выходного напряжения. Колебания напряжения могут вызывать «сбои» аппаратуры, если их величина является критической. Пульсация состоит из колебаний напряжения на частоте работы преобразователя и высокочастотных гармоник, называемых радиопомехами. В данной главе рассматриваются различные варианты методов измерения пульсаций выходного напряжения и объясняется, как они влияют на получаемый результат.

Пульсация состоит из двух частей:

- пульсация на основной частоте работы преобразователя (в англоязычной литературе – ripple);
- высокочастотные радиопомехи (в англоязычной литературе – noise), вызванные ключевым режимом работы внутренних активных элементов преобразователя.

Данное разделение пульсации на «пульсацию» и «радиопомехи» позволит правильно интерпретировать результаты измерения.

8.1. Пульсация и радиопомехи

Пульсация возникает при «перекачке» энергии с первичной на вторичную сторону преобразователя через трансформатор с определенной (или меняющейся в зависимости от величины нагрузки) частотой. Типовая картина пульсаций выходного напряжения представлена на [Рис. 36]. В течение интервала времени, когда преобразователь не передает энергию на вторичную сторону, нагрузка потребляет накопившуюся в предыдущем цикле энергию из выходного LC-контура. При наступлении цикла передачи энергии на вторичную сторону энергия начинает запасаться в выходном накопителе преобразователя, и напряжение увеличивается.

Радиопомехи возникают вследствие переходных процессов при коммутации силового ключа, которая характеризуется паразитными параметрами элементов схемы и элементов конструкции и высокой скоростью отношения di/dt и du/dt . Частота радиопомехи намного выше частоты пульсации и находится в мегагерцовом диапазоне. Частота повторения таких помех зачастую определяется тактовой частотой переключения внутренних элементов. Дополнительной частью помех в высокочастотной зоне могут служить помехи, появившиеся вследствие воздействия электромагнитных полей других электрических устройств.

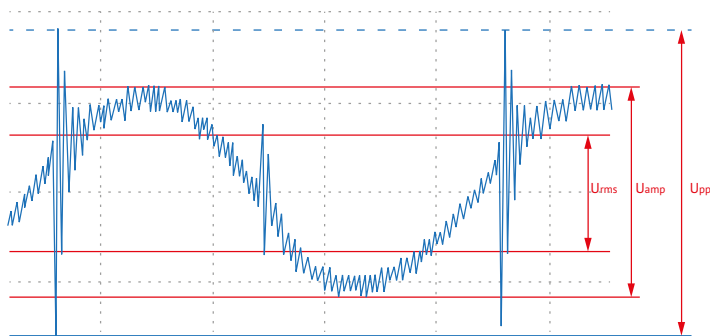


Рис. 36. Типовой вид пульсации выходного напряжения импульсного преобразователя.

Различают среднеквадратичное значение пульсаций (U_{RMS}), амплитудное значение пульсации (U_{AMP}) и пульсации «пик-пик» (U_{PP} – величина радиопомех). Некоторые производители указывают в документации на изделие первое значение (U_{RMS}). Приводя цифру только среднеквадратичных пульсаций, например, 5 мВ (rms), производители не раскрывают высокочастотную составляющую пульсаций, а именно величину радиопомех (peak-to-peak). Но наиболее важным является, всё-таки, второй параметр.

8.2. Измерительное оборудование

В качестве измерителя пульсации могут выступать как микровольтметры, так и осциллографы, используемые совместно с пробниками. Некоторые рекомендации по настройке оборудования от производителей осциллографа:

1. Используйте связь по переменному току для исключения постоянной составляющей.
2. Ограничьте полосу пропускания осциллографа и пробников (обычно, до 20 МГц).
3. Используйте дифференциальные пробники для безопасного и точного измерения плавающего напряжения без заземления.
4. Не используйте пробники и принадлежности, которые взаимодействуют с излучаемыми помехами.
5. Выбирайте пробники, которые позволяют не использовать настройки осциллографа с максимальной чувствительностью.

Как известно, полоса пропускания измерительной системы равна полосе пропускания «самого слабого звена». Осциллограф с полосой 500 МГц при использовании совместно с пробником, имеющим полосу 10 МГц, будет иметь полосу пропускания 10 МГц. Чаще всего используют полосу пропускания 20 МГц.

Вместо стандартных пассивных пробников с коэффициентом деления 10:1, поставляемых в комплекте с осциллографами, рекомендуется применять пробники с коэффициентом деления 1:1. При использовании пробника 10:1 не только в 10 раз увеличивается базовый уровень собственных шумов осциллографа, но и минимальные значения настроек коэффициента вертикального отклонения (В/дел) также в 10 раз больше, чем с пробником 1:1. Уменьшение величины отношения сигнал/шум приводит к сужению динамического диапазона измерений. Использование пробника с меньшим коэффициентом ослабления, при условии, что при этом не превышает максимальный уровень входного напряжения, позволяет достичь исключительно высокой целостности сигнала.

Следует также учитывать, что результаты измерения зависят от оборудования и точки измерения. В составе осциллографов, как правило, имеется встроенный фильтр высоких частот, в котором можно изменять частоту среза. Перед измерением следует проверить установки ВЧ-фильтра, чтобы избежать подавление пульсации на частоте преобразования.

8.3. Методы измерения

1. Для устранения радиопомехи синфазного вида делают несколько витков проводом щупа на тороидальном сердечнике. Это позволяет уменьшить высокочастотные синфазные токи.
2. Отключают заземляющий проводник щупа и проводят измерение, используя заземляющую оболочку [Рис. 38]. Данный метод исключает резонансный контур, который образуется на частоте 80 МГц индуктивностью проводника (около 250 нГн) и емкостью канала осциллографа (в среднем, 15 пФ). Кроме того, минимизируются «наводки» от генератора излучаемых помех, которым является импульсный преобразователь напряжения.

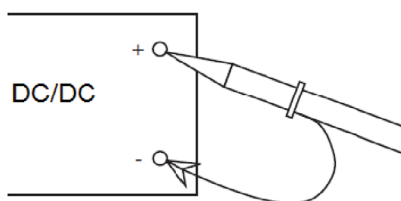


Рис. 37. Не правильный метод измерения пульсаций с щупом без заземляющего проводника.

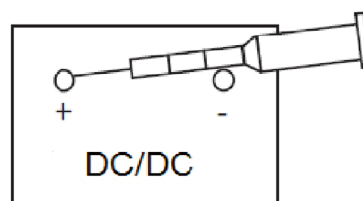


Рис. 38. Правильный метод измерения пульсации с щупом без заземляющего проводника.

3. Используют схемы согласования импедансов (комплексных сопротивлений) измеряемого и измерительного устройств. Как правило, принимается, что импеданс источника питания низкий, импеданс коаксиального кабеля щупа составляет 50 Ом, импеданс осциллографа — порядка одного мегаома. Чтобы избежать возникновения эффекта отражения волн между устройствами с несогласованным импедансом, дополнительно включают последовательно в цепь измерения резистор 50 Ом непосредственно на выходе источника питания. На входе осциллографа включают резистор 50 Ом параллельно. Во избежание протекания тока через резисторы последовательно добавляют конденсатор 0,1 мкФ. В результате получается резистивный делитель, и результаты измерения необходимо умножать на два.

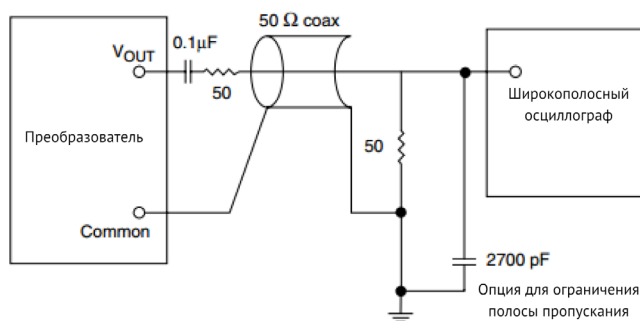
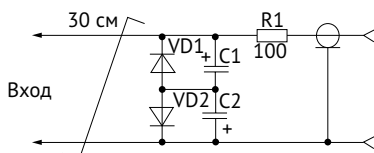


Рис. 39. Схема согласования осциллографа.

Что нельзя делать при измерении пульсации:

1. Использовать пробник совместно с протяженным заземляющим проводником («крокодилом»).
2. Измерять пульсации преобразователя на измерительных приборах (вольтметрах).

Также можно использовать специальное приспособление для снятия наведенных помех и паразитных эффектов, показанное на [Рис. 40]. Данное приспособление дает однозначные результаты при измерениях на заводе-изготовителе и конечном потребителе.



VD1, VD2 - диод 2Д522Б, C1, C2 - конденсатор типа К50-68 100В 2,2 мкФ

Рис. 40. Приспособление для измерения пульсаций.

Слева по схеме распаивается витая пара длиной около 30 см, идущая от выходных выводов модуля электропитания, справа — коаксиальный кабель, подключаемый к осциллографу. Печатная плата щупа изготавливается из фольгированного стеклотекстолита.

Для уменьшения влияния наводок на измерительную линию доступно подключать осциллографический щуп, как показано на [Рис. 41].

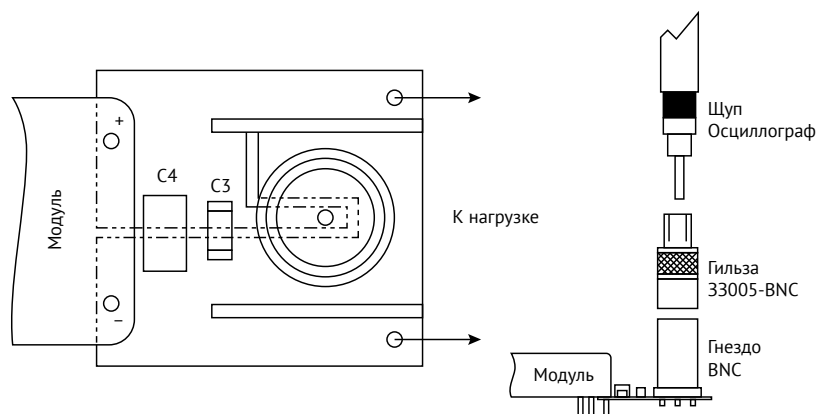


Рис. 41. Способ измерения пульсаций.

Пульсации выходного напряжения модулей электропитания проверяют в НКУ при минимальном значении входного напряжения и максимальном выходном токе одноканальных модулей и всех каналов многоканальных модулей.

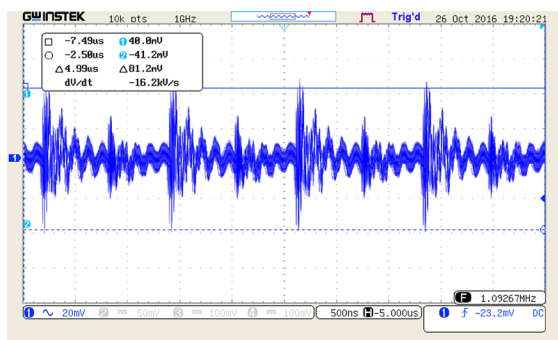


Рис. 42. Пример некорректного измерения.

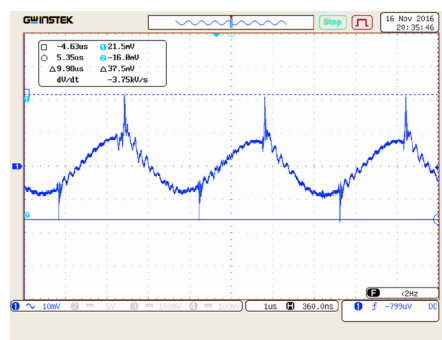


Рис. 43. Пример корректного измерения.

Измерения при производстве модулей электропитания проводятся многократно на контрольных этапах производства во всем диапазоне входного напряжения и максимальном значении выходной нагрузки.

При рекомендованном в технических условиях значении выходной ёмкости:

- в НКУ значение не превышает 1 % от $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$;
- при предельных температурах окружающей среды значение не превышает 2 % от $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$.

Типовая картина изменения амплитуды пульсации выходного напряжения приведена на [Рис. 44]. По оси абсцисс (X) – проценты от номинала выходного напряжения, по оси ординат (Y) – температура окружающей среды.

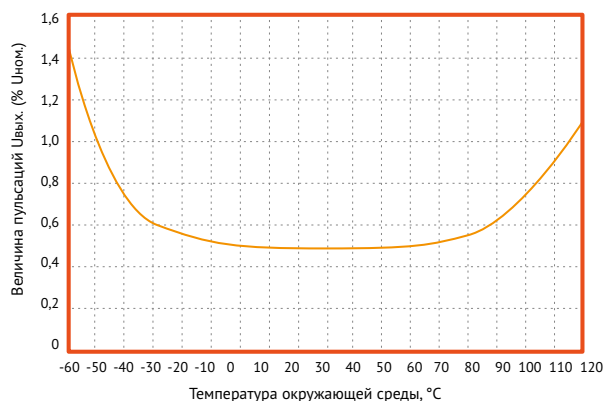


Рис. 44. Типовая картина изменения амплитуды пульсации выходного напряжения в зависимости от температуры окружающей среды.

8.4. Рекомендации по снижению пульсаций

К современным импульсным DC/DC преобразователям все чаще предъявляются жесткие требования к выходным электрическим параметрам преобразователя, в особенности к пульсациям. В настоящий момент сильно увеличивается тактовая частота преобразования и доходит до 800–1500 кГц. Высокий уровень пульсаций может приводить к сбоям в работе аппаратуры, особенно если она работает в диапазоне частот работы преобразователя.

Внутренняя схемотехника всех серий DC/DC преобразователей «АЕДОН» включает входные и выходные емкостные фильтры, либо LC-фильтры высокочастотных помех. При установке рекомендованной обвязки типовая величина пульсаций при температуре окружающей среды +25 °C и 70 % нагрузке преобразователя равна 0,5–0,7 %, а с ростом температуры и нагрузки до предельно допустимого режима работы может достигать 2 %.

Причинами завышенных пульсаций могут быть:

- Работа преобразователя в режиме «холостого хода» или с выходной мощностью менее 10 % от номинальной (кроме адаптированных для работы при нулевой нагрузке специальных серий).
- Некорректный метод измерения.
- Резонансные эффекты между цепями обратной связи преобразователя и внешними элементами.

- Несоблюдение рекомендаций технических условий по включению и внешней обвязки преобразователя.
- Некорректная конструкция и разводка печатной платы, взаимное влияние модулей электропитания и внешних элементов при включении в одну систему.

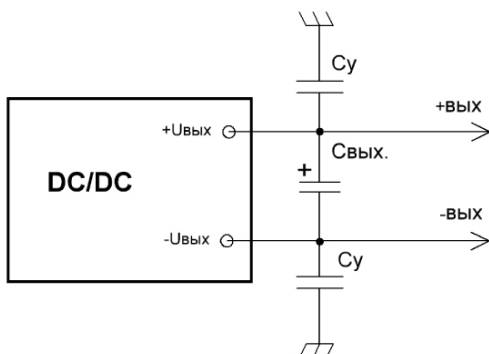


Рис. 45. Рекомендованная обвязка по ТУ.
 C_y — керамический конденсатор 2200...4700 нФ.
 $C_{вых}$ — номинал соответствует [Табл. 7].

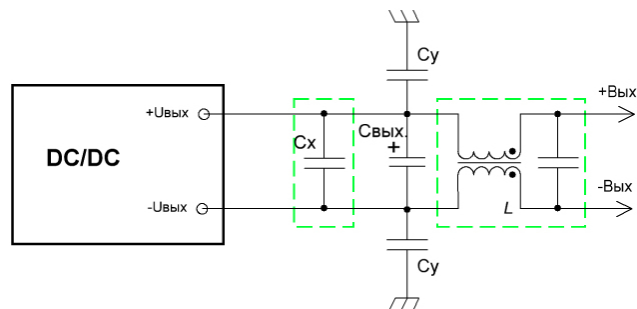


Рис. 46. Обвязка с улучшенной фильтрацией высокочастотных помех.
 C_x — керамический конденсатор 0,47...1,5 мкФ.
 L — синфазный дроссель не менее 1 мГн.

Для большинства задач является достаточным рекомендованная обвязка [Рис. 45] с использованием танталового конденсатора с низким внутренним сопротивлением (low ESR). Для дальнейшего уменьшения выходных пульсаций следует устанавливать LC-фильтры с требуемыми АЧХ. Для особо чувствительной аппаратуры необходимо дополнительно ослаблять пульсации на основной частоте преобразования и высокочастотные помехи (синфазного, дифференциального вида). Для этого необходимо включать на выход преобразователя LC-фильтры. Также хорошо с этими задачами справляется дроссель с подмагничиванием (катушка на стержневом сердечнике). Недостатки такой катушки — это её габаритные размеры в случае больших рабочих токов и ЭМИ-излучение.

Лучшим решением в целях экономии пространства является синфазный дроссель (катушка с компенсацией токов). Выполняется данная катушка на ферромагнитных, нанокристаллических сердечниках, что позволяет добиться высочайших значений индуктивности при минимальном количестве витков и паразитных емкостей. Такая катушка фактически ослабляет только синфазную помеху, поскольку магнитный поток в сердечнике, вызванный рабочим током и током дифференциальной помехи, компенсируется за счет специальной намотки и формы сердечника. Главное достоинство такого типа катушек — это миниатюрный объем при высокой индуктивности даже для больших рабочих токов.

Недостаточное ослабление высокочастотных помех дифференциального вида может быть улучшено посредством включения между полюсами выходного напряжения модуля X-конденсаторов с постоянным импедансом в широком диапазоне частот [Рис. 45].

Также важно обращать внимание на правильность топологии (описание в разделе «№3. Конструкция и схемотехника» на странице 2).

9. Тепловой режим

Важнейшим фактором, влияющим на надежность работы модулей питания и, как следствие, на надежность аппаратуры, в которую они установлены, является правильно выбранный тепловой режим их эксплуатации.

Известно, что повышение рабочей температуры некоторых электронных компонентов на 10 °С приводит к сокращению их наработки на отказ вдвое. Это можно, для примера, наблюдать на графике зависимости срока службы конденсаторов от температуры [Рис. 47]. Поэтому выбор оптимального теплового режима работы модулей питания в аппаратуре — одно из первоочередных мероприятий при построении системы питания.

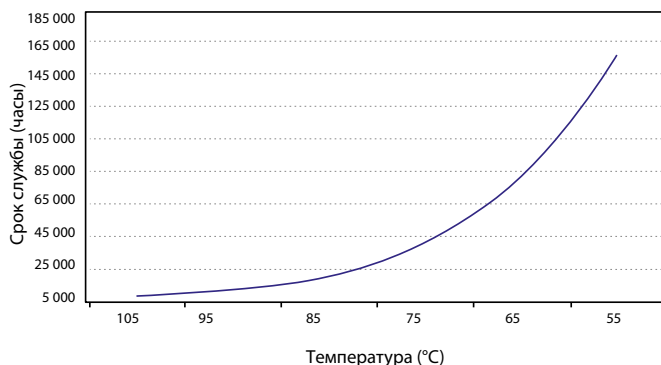


Рис. 47. График зависимости срока службы конденсаторов от температуры окружающей среды.

Любое преобразование энергии не обходится без тепловых потерь. Часть полной мощности, потребляемой из первичного источника, выделяется в виде тепла. Величину тепловых потерь для преобразователя DC/DC определяет коэффициент полезного действия (КПД).

Формула КПД:

$$\eta = (P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}) \times 100 \%,$$

- где $P_{\text{вх}}$ — полная мощность потребляемая преобразователем из первичной сети (Вт);
- $P_{\text{вых}}$ — выходная мощность преобразователя (Вт).

Основные элементы, которые несут тепловые потери — это дроссели, трансформаторы, силовые ключи, диоды и демпфирующие цепочки. Современная силовая электроника стремительно развивается в сторону увеличения КПД и, тем самым, уменьшения габаритов необходимого радиатора или вовсе исключения его.

Преобразователи компании «АЕДОН» имеют возможность работать в ультрашироком температурном диапазоне корпуса от –60 до +125 °С за счет конструктивных решений, позволяющих значительно снизить тепловое сопротивление «компонент–корпус модуля–радиатор». Это позволяет работать без снижения мощности в широком температурном диапазоне.

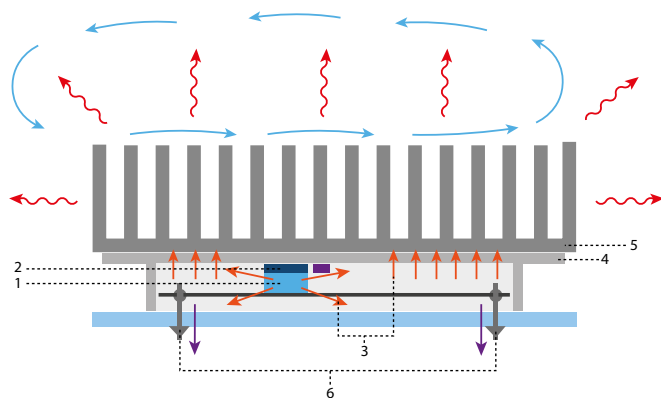


Рис. 48. Принцип распределения тепла у преобразователя (в разрезе). 1 — силовой элемент, выделяющий тепло. 2 — теплопроводящая паста. 3 — теплораспределяющий компаунд 4 — алюминиевый или медный корпус. 5 — радиатор. 6 — выводы.

Отведение тепловой энергии осуществляется тремя способами:

1. Теплопроводность (кондукция) — процесс обмена тепловой энергией между телами или частями тел, которые соприкасаются между собой за счёт взаимодействия молекул. С помощью этого процесса доставляется тепловая энергия от силовых элементов к радиатору через теплораспределяющий компаунд и корпус преобразователя (оранжевые стрелки).
2. Конвекция — процесс обмена теплом между телами за счёт движения частиц газа или жидкости. Может быть как естественным, так и принудительным. С помощью этого процесса развевается до 80 % выделяемого тепла (синие стрелки).
3. Излучение — процесс переноса тепла за счёт превращения тепловой энергии в энергию излучения (лучистая энергия). Является дополнительным процессом отведения тепла (красные стрелки) до 10 %.

Дополнительно необходимо учитывать кондукцию тепловой энергии протекающей по выводам МП на металлизацию п/п до 10 % (фиолетовым цветом).

9.1. Расчеты теплового режима

В некоторых случаях компоновка преобразователя в аппаратуре не допускает наличия радиатора или радиатор является неподходящей формой. Тогда приходится рассчитывать радиатор самостоятельно или использовать в роли теплоотвода металлический корпус изделия определенной толщины.

Далее приведен расчет произвольного радиатора.

Для описания теплообмена можно использовать следующее соотношение:

$$Q = aS\Delta T, (1)$$

- где Q — мощность тепловыделения Вт;
- a — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² × К);
- S — площадь поверхности теплообмена, м²;
- ΔT — перепад температур между двумя средами.

Мощность тепловых потерь $P_{РАСС}$ можно подсчитать по формуле:

$$P_{РАСС} = P_{ВЫХ} / \eta - P_{ВЫХ}, (2)$$

- где $P_{ВЫХ}$ — выходная мощность модуля питания, Вт;
- η — КПД модуля.

Величина КПД имеет выраженный нелинейный характер и зависит от входного и выходного напряжения модуля, от его номинальной выходной мощности и реального коэффициента загрузки по мощности и даже от температуры корпуса модуля. Значение КПД для конкретного исполнения и режимов эксплуатации можно посмотреть в даташитах на изделие (пример графика КПД на [Рис. 49]).

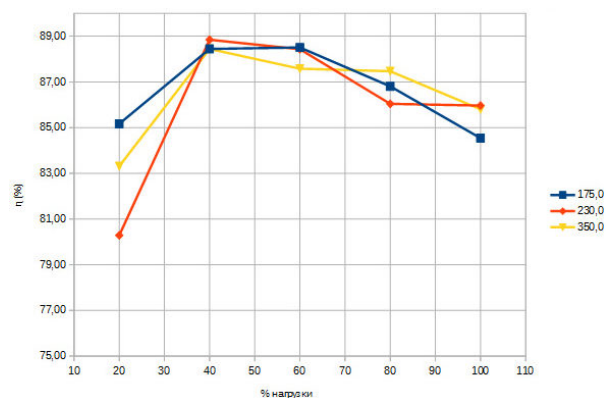


Рис. 49. График зависимости КПД от величины нагрузки при различном входном напряжении MDV1000-1M27.

После того, как стало известно, какую мощность $P_{\text{РАСС}}$ необходимо отвести от модуля питания, необходимо сравнить с мощностью, которую преобразователь может рассеять самостоятельно, без дополнительного охлаждающего радиатора при максимально возможной температуре окружающего воздуха. Для этого воспользуемся тепловым сопротивлением «корпус–среда» указанным в технических условиях и даташитах.

$R_{\text{КОРП-ОКР.ТЕМП}}$ измеряется ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$) и имеет обратное значение от произведения коэффициента теплоотдачи и площади поверхности теплообмена ($1/a \times S$) из формулы (1). $R_{\text{КОРП-ОКР.ТЕМП}}$ показывает, на сколько градусов одна поверхность будет нагрета больше, чем другая при отведении одного Ватта тепловой мощности.

Максимальная мощность без радиатора:

$$P_{\text{РАСС.МАКС}} = (T_{\text{МАКС}} - T_{\text{ОКР}}) / R_{\text{КОРП-ОКР.ТЕМП}}, (3)$$

- где $T_{\text{МАКС}}$ – максимально допустимая температура корпуса модуля питания;
- $T_{\text{ОКР}}$ – температура окружающего воздуха при эксплуатации модуля питания;
- $P_{\text{РАСС.МАКС}}$ сравнивается с действительным значением тепловых потерь $P_{\text{РАСС}}$.

В случае, если $P_{\text{РАСС}}$ меньше или равно $P_{\text{РАСС.МАКС}}$, то достаточно площади поверхности самого преобразователя при отсутствии препятствий к свободной циркуляции окружающего воздуха.

Для избежания локальных перегревов преобразователи «АЕДОН» с выходной мощностью свыше 60 Вт требуют наличия теплораспределяющей пластины или радиатора. Для удобства определения возможности эксплуатации модулей без радиатора в даташитах на преобразователи производства ООО «АЕДОН» приведены типовые кривые снижения максимальной выходной мощности без дополнительного теплоотвода в зависимости от температуры окружающей среды («тепловые кривые» или «derating curves»). Пример графика представлен на [Рис. 50].

Следует иметь в виду, что компания «АЕДОН» в рамках серии MDV предлагает два температурных диапазона: индекс «М» (от -60 до $+90^{\circ}\text{C}$) и индекс «Т» (от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$). Диапазоны отличаются значением температуры окружающей среды, при которой начинается снижение максимальной выходной мощности без использования радиатора [Рис. 50]. В составе модуля имеется термодатчик (более подробно – в разделе «Нештатные ситуации»), который отключает модуль при возникновении риска перегрева. Для диапазона «М» значение температуры корпуса, при котором происходит срабатывание термодатчика составляет $+88...+92^{\circ}\text{C}$. Для диапазона «Т» $+120...+127^{\circ}\text{C}$.

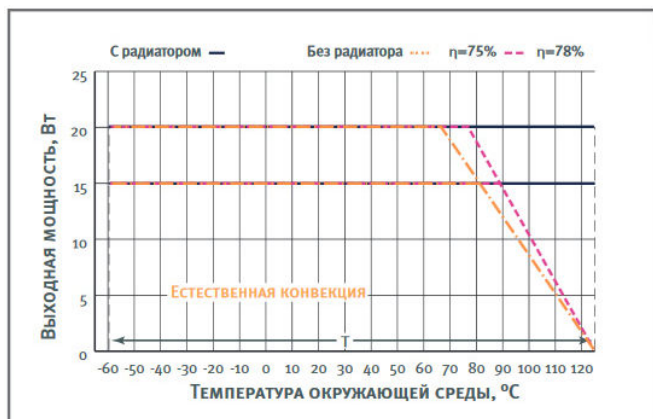


Рис. 50. Зависимость выходной мощности от температуры окружающей среды

Штрих-пунктирные линии показывают границу максимальной мощности без использования теплоотвода (радиатора) при различных КПД. С радиатором соответствующей площади снижения мощности не происходит (сплошная линия).

9.2. Расчет произвольного радиатора

Конструкция теплоотвода обычно выбирается с учетом компоновки в аппаратуре. Частым приемлемым решением является установка преобразователя на стенку изделия аппаратуры или на корпус конечного изделия. В тех случаях, когда требуется оценка необходимой площади поверхности корпуса аппаратуры или произвольного алюминиевого радиатора, можно воспользоваться следующим соотношением: преобразователь с алюминиевым радиатором площадью поверхности 20 см^2 при рассеивании 1 Вт тепловой мощности будет нагрет на 35°C выше температуры окружающей

среды. Данное соотношение было выведено экспериментально исходя из теплового сопротивления алюминия к воздуху и подтверждено ходом ряда экспериментов. Данное соотношение является упрощенным коэффициентом теплоотдачи в системе «корпус–радиатор–окружающая среда».

Минимальная площадь алюминиевого радиатора S_{HEATSINK} в квадратных сантиметрах равна:

$$S_{\text{HEATSINK}} \approx (20 \times 35 \times P_{\text{РАСС}}) / (T_{\text{МАКС}} - T_{\text{ОКР}}), (4)$$

- где $P_{\text{РАСС}}$ — мощность тепловых потерь, Вт;
- $T_{\text{МАКС}}$ — максимально допустимая температура корпуса модуля питания, °С;
- $T_{\text{ОКР}}$ — температура окружающего воздуха, °С.

Полученные значения S_{HEATSINK} , а также тепловое сопротивление «корпус–среда», минимальная толщина основания радиатора, максимальная выходная мощность модулей без радиатора приведены в таблице.

Номинальная выходная мощность, Вт	Типоразмер корпуса	Тепловое сопротивление «корпус–среда», °С/Вт	Ориентировочная площадь поверхности дюралюминиевого радиатора при $P_{\text{изм}}$ для обеспечения $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ между температурой корпуса модуля и температурой окружающей среды, см ²	Толщина основания радиатора, $h_{\text{рад}}$, мм, не менее	Максимальная выходная мощность без радиатора при 25 °С, $P_{\text{МАКС НКУ}}$, Вт	Температура окружающей среды, при которой начинается снижение максимальной выходной мощности без использования радиатора, $t_{\text{сниж}}$, °С
3	I	19,8	—	1,5	3	110
5			165		5	100
6			200		6	95
8			267		8	85
7,5	II	12,5	249	2,5	7,5	102
10			336		10	94
12			403		12	88
15			509		15	93
20	III	8,7	684		20	82
25			855		25	71
30			1030		30	67
40			1380		30,8	47
50	IV	7,8	1725		30,6	28
30			1017	4	30	85
40			1367		40	72
60			2067		45,3	46
80			2767		45,3	19
80	VI	3,3	2758		72,7	59
120			4158		72,7	26
160			5558		72,7	–7
320			11150		80	–
400	VII	3	13950		80	–
500			17437		80	–
1000			34950		88,9	–
1000	VIII	2,7	34950	7	88,9	–

Табл. 8. Тепловые характеристики модулей серии MDV.

9.3. Применение готовых решений

Для удобства применения преобразователей компания «АЕДОН» выпускает готовые радиаторы (серия РО), которые обеспечивают необходимый тепловой режим для преобразователей при типовом включении (нагрузка 70%, $T_{\text{ОКР}} = 0,7 \times T_{\text{ОКР.МАКС}}$). Для достижения высокого коэффициента теплоотдачи и минимального удельного веса используется материал из дюралюминия (АД31). Радиатор подвергается процессу анодного оксидирования с целью защиты поверхности радиатора от окисления, возникающего из-за взаимодействия с воздухом. Поверхность становится черно-матового цвета, что в свою очередь повышает коэффициент излучения до значения 0,88–0,9, повышается возможность радиатора поглощать/излучать тепловую энергию.

Подробную информацию о высоте рёбер и площади теплоотводящей поверхности можно найти в даташите на сайте производителя.

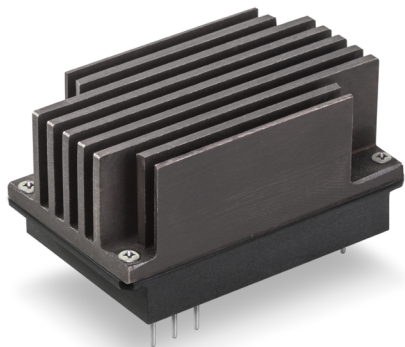


Рис. 51. Модуль совместно радиатором.

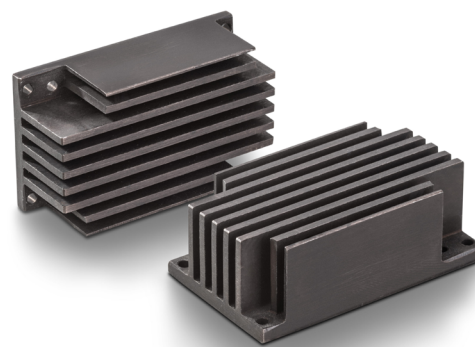


Рис. 52. Радиаторы охлаждения.

Существует два типа радиаторов: с поперечным расположением ребер [Рис. 53] и продольным [Рис. 54]. Расположение ребер должно совпадать с направлением воздушного потока в аппаратуре.

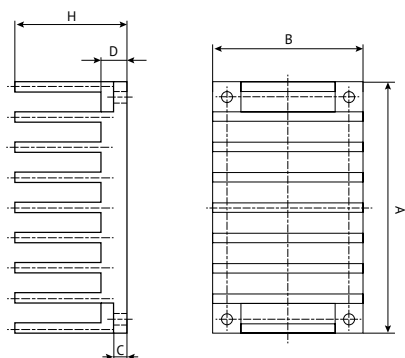


Рис. 53. Поперечное расположение ребер.

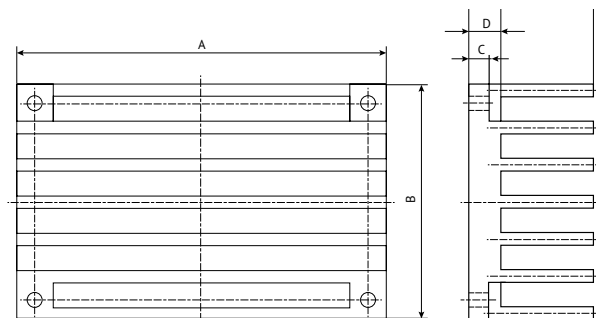


Рис. 54. Продольное расположение ребер.

9.4. Рекомендации для улучшения теплоотведения

Для улучшения качества теплоотведения рекомендуется:

1. Важно обеспечивать беспрепятственное взаимодействие с окружающей средой и учитывать возможное влияние других источников тепла в закрытом пространстве (корпусе аппаратуры), как показано на [Рис. 55].

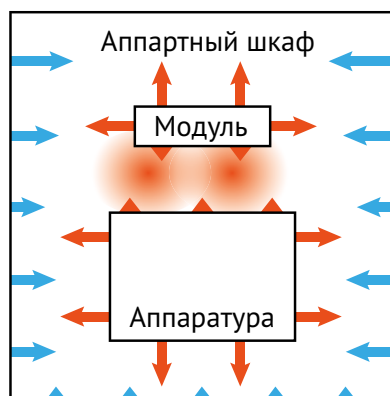


Рис. 55.

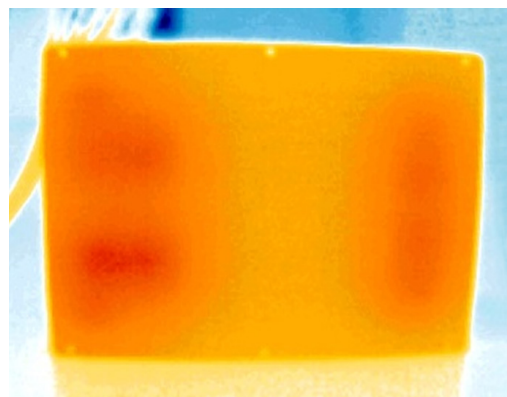


Рис. 56. Термограмма MDV1000.

2. При использовании преобразователей без радиатора из-за тонкой стенки корпуса возможно образование локальных перегревов [Рис. 56] в виде тепловых пятен на корпусе модуля. Для исключения локальных перегревов необходимо использовать модули с дополнительным теплораспределяющим основанием, которое выравнивает температуру на теплоотводящей поверхности модуля. Таким основанием может являться, например, алюминиевая пластина, имеющая размеры основания модуля и толщину не менее указанной в [Табл. 8]. Базовое основание должно иметь хороший тепловой контакт с верхней поверхностью корпуса модуля за счет использования теплопроводящей пасты. Неплоскостность теплораспределяющей пластины, основания радиатора и поверхности модуля не должна превышать 0,2 мм на 10 см поверхности.
3. Обратите внимание на площадь и плоскостность контакта соприкосновения модуля и радиатора, равномерность распределения пасты и ее минимальную толщину. При применении пасты или теплопроводящей изоляционной прокладки дополнительное тепловое сопротивление можно оценить по следующей формуле:

$$R_p = \delta_p / (\lambda \times S_p), (5)$$

- где δ_p — толщина прокладки или слоя пасты;
 - λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м × К)^[3];
 - S_p — площадь прилегающей прокладки или слоя пасты.
4. Значительно снизить размеры теплоотводящей системы, а в некоторых случаях и вообще от нее отказаться позволяет применение принудительной конвекции при помощи вентилятора. Поток воздуха через теплоотводящую поверхность модуля питания или через его радиатор со скоростью 1 м/сек снижает тепловое сопротивление примерно в два раза, т.е. вдвое увеличивает эффективную площадь теплоотвода по сравнению с естественной конвекцией. Наиболее эффективно тепловое сопротивление снижается при увеличении скорости воздушного потока с 0,5 до 1,5 м/сек. При последующем увеличении скорости воздушного потока начинается срыв воздуха с поверхности теплоотвода и тепловое сопротивление остается практически постоянным.

При использовании вентиляторов в качестве источников обдува необходимо обращать внимание на их надежность и срок службы, своевременно проводить их техническое обслуживание, особенно при условиях эксплуатации в запыленных помещениях, т.к. заклинивание вентилятора может привести к перегреву и выходу из строя модуля питания.

5. Еще одним важным фактором, является снижение эффективности воздушных систем охлаждения при увеличении высоты над уровнем моря или при снижении атмосферного давления. Так, например, уже на высоте 3500 м эффективность как естественного конвективного, так и принудительного воздушного охлаждения снижается на 25 %.

[3] Указывается в справочных материалах.

10. ЭМС

10.1. ЭМС модулей серии MDV

10.1.1. Модули MDV3, MDV5, MDV6, MDV8

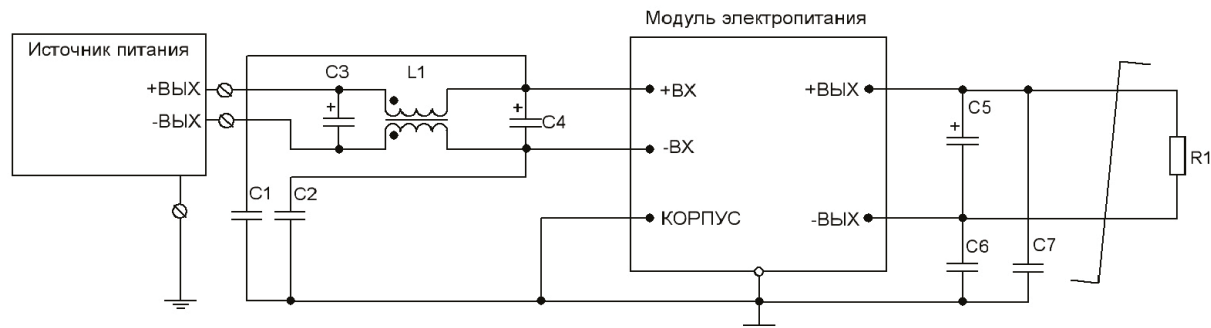


Рис. 57. Схема включения одноканального модуля электропитания MDV3, MDV5, MDV6, MDV8.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 100–4700 пФ.
- C3, C4 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 1000–1500 мкГн.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
8	10–47	1	10–47	3,3–15	1	3,3–15	1–4,7	1	1–4,7
12	10–47	1	10–47	3,3–15	1	3,3–15	–	–	–

Табл. 9. Параметры шунтирующих конденсаторов для MDV3, MDV5, MDV6, MDV8.

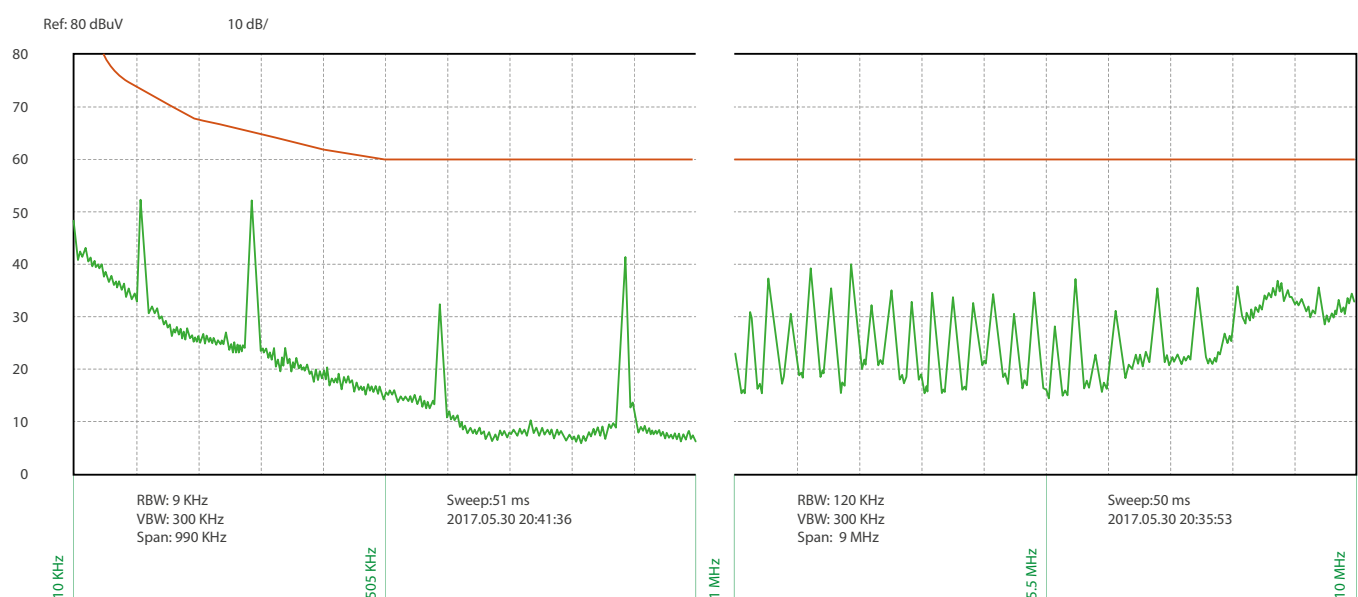


Рис. 58. Спектрограмма ЭМС MDV8-1W24.

10.1.2. Модули MDV7,5; MDV10; MDV12

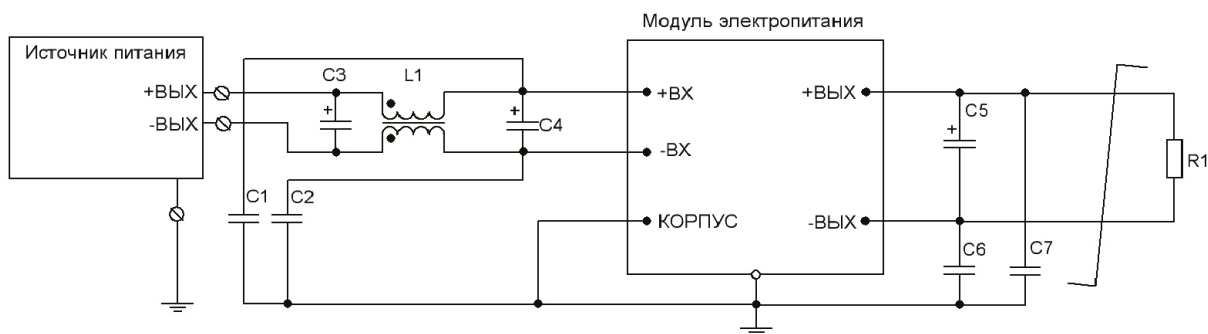


Рис. 59. Схема включения одноканального модуля электропитания MDV7,5; MDV10; MDV12.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 100–4700 пФ.
- C3, C4 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 1000–1500 мкГн.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
7,5; 10	22–68	1,5	22–68	6,8–22	1,5	6,8–22	2,2–6,8	1,5	2,2–6,8
12	22–68	1,5	22–68	6,8–22	1,5	6,8–22	—	—	—

Табл. 10. Параметры шунтирующих конденсаторов MDV7,5; MDV10; MDV12.

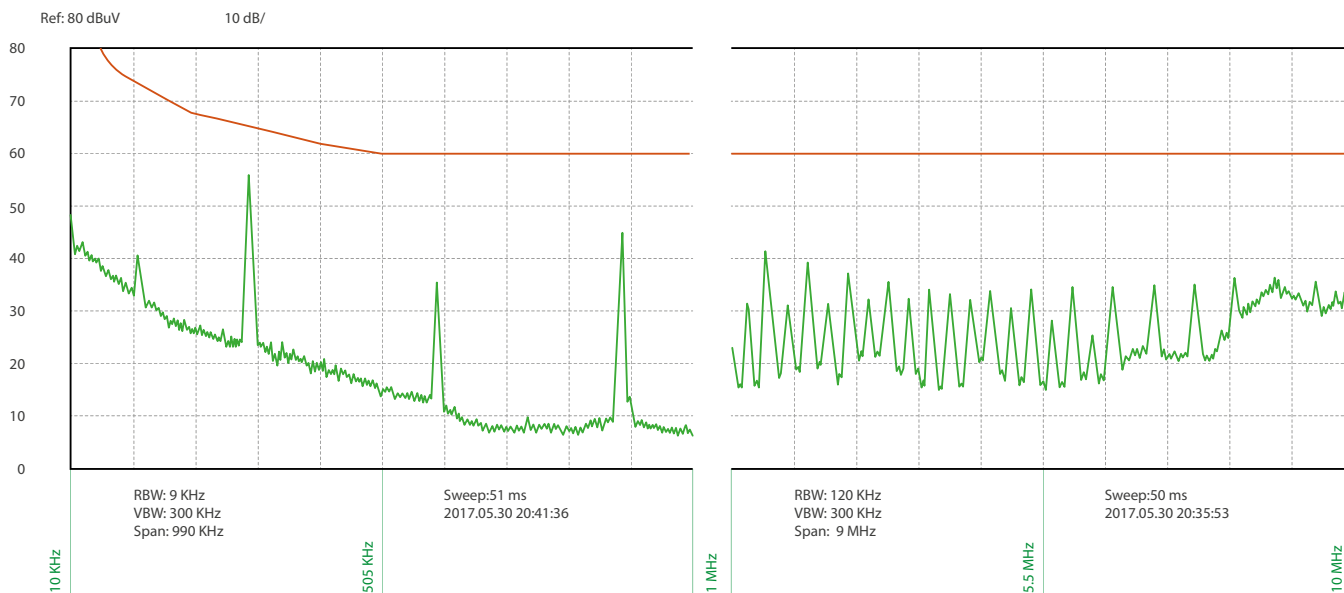


Рис. 60. Спектрограмма ЭМС MDV10-1W24.

10.1.3. Модули MDV15, MDV20, MDV25

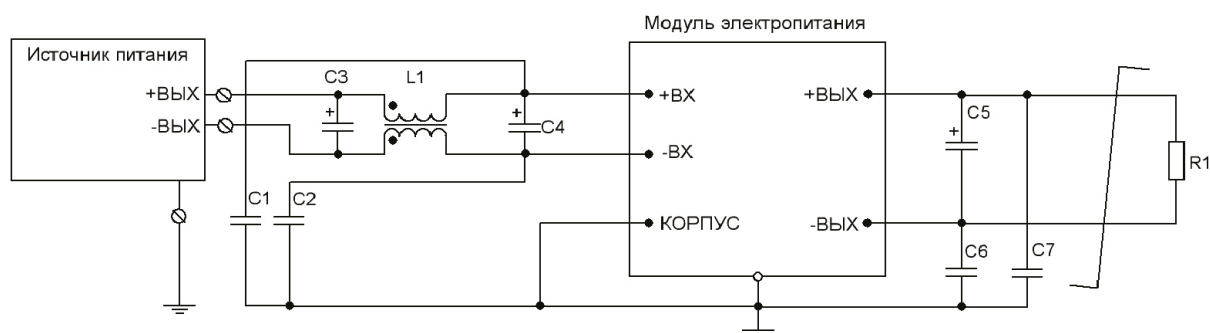


Рис. 61. Схема включения одноканального модуля электропитания MDV15, MDV20, MDV25.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 100–4700 пФ.
- C3, C4 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 1000–1500 мкГн.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
15; 20	47–150	2,2	47–150	15–47	2,2	15–47	3,3–10	2,2	3,3–10
25	47–150	2,2	47–150	15–47	2,2	15–47	—	—	—

Табл. 11. Параметры шунтирующих конденсаторов MDV15, MDV20, MDV25.

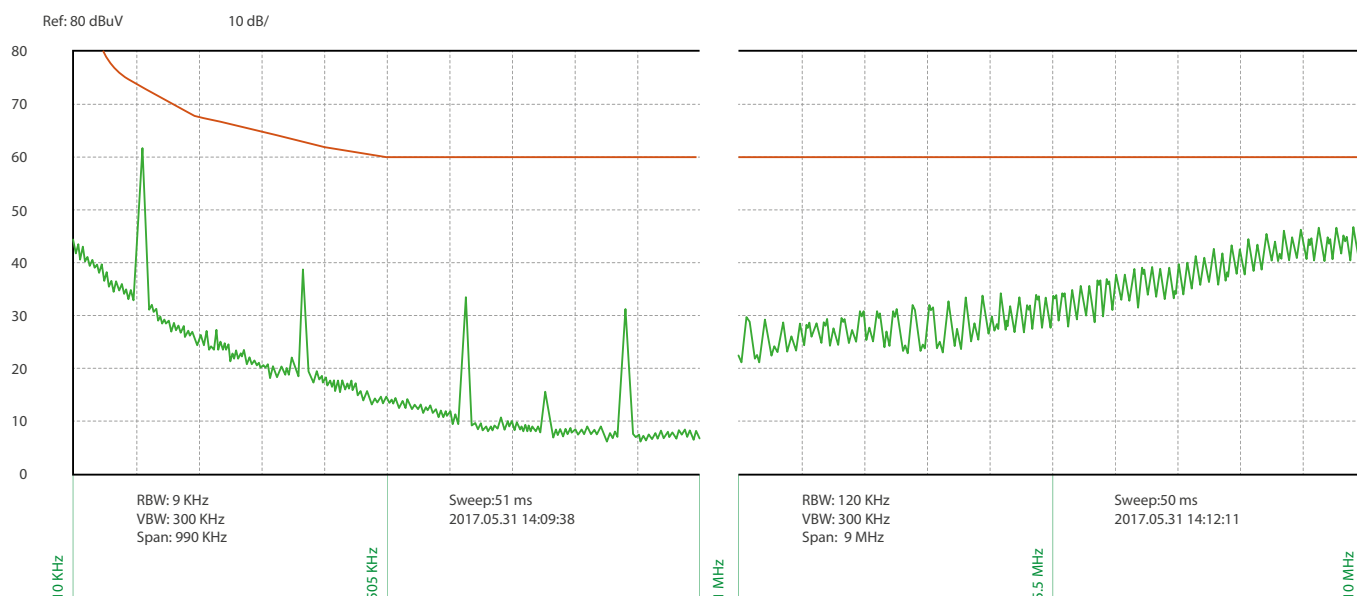


Рис. 62. Спектрограмма ЭМС MDV20-1W24.

10.1.4. Модули MDV30, MDV40, MDV50

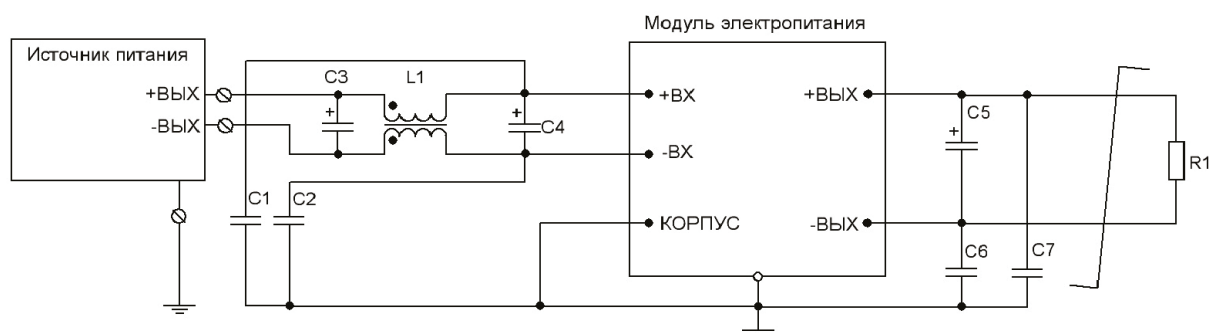


Рис. 63. Схема включения одноканального модуля электропитания MDV30, MDV40, MDV50.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 100–4700 пФ.
- C3, C4 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор, номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 1000–1500 мкГн.

	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
Номинальная выходная мощность, Вт	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
30; 40	100–330	3,3	100–330	33–100	3,3	33–100	6,8–22	3,3	6,8–22
50	100–330	3,3	100–330	33–100	3,3	33–100	—	—	—

Табл. 12. Параметры шунтирующих конденсаторов MDV30, MDV40, MDV50.

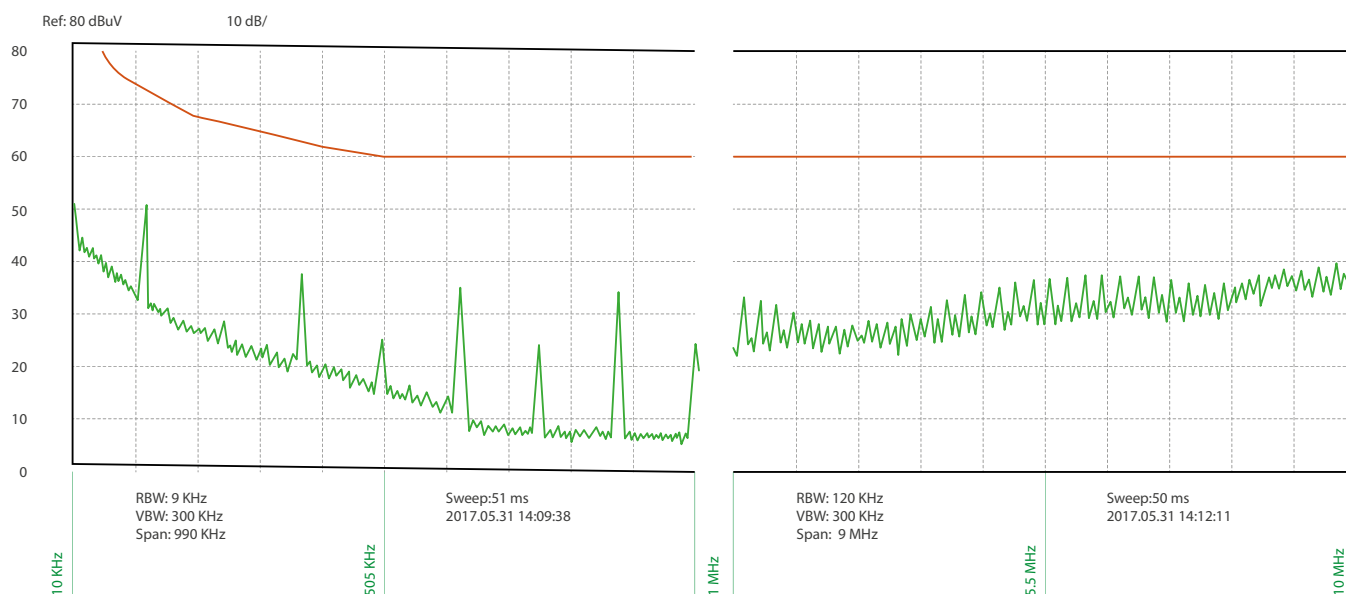


Рис. 64. Спектрограмма ЭМС MDV40-1W24.

10.1.5. Модули MDV60, MDV80

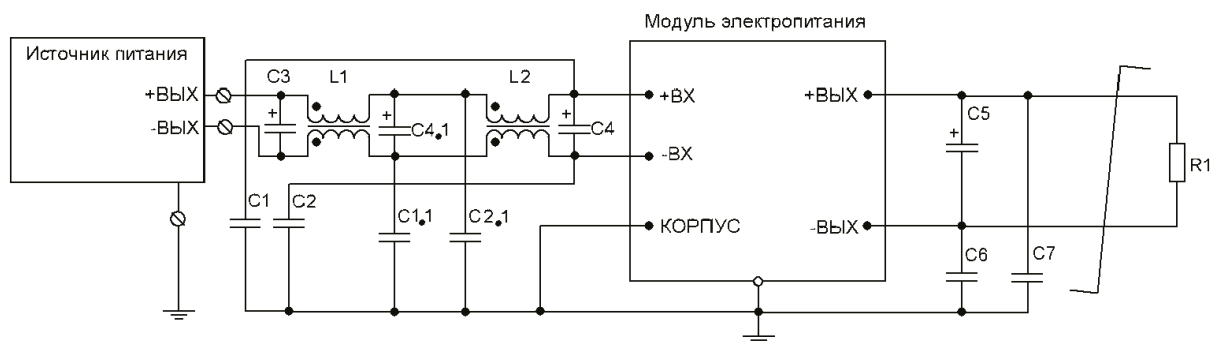


Рис. 65. Схема включения одноканального модуля электропитания MDV60, MDV80.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C1.1, C2.1 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C3, C4, C4.1 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 900–1600 мкГн.
- L2 – дроссель номиналом 3–7 мГн.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
60; 80	220–470	4,7	220–470	68–150	4,7	68–150	15–33	4,7	15–33

Табл. 13. Параметры шунтирующих конденсаторов MDV60, MDV80.

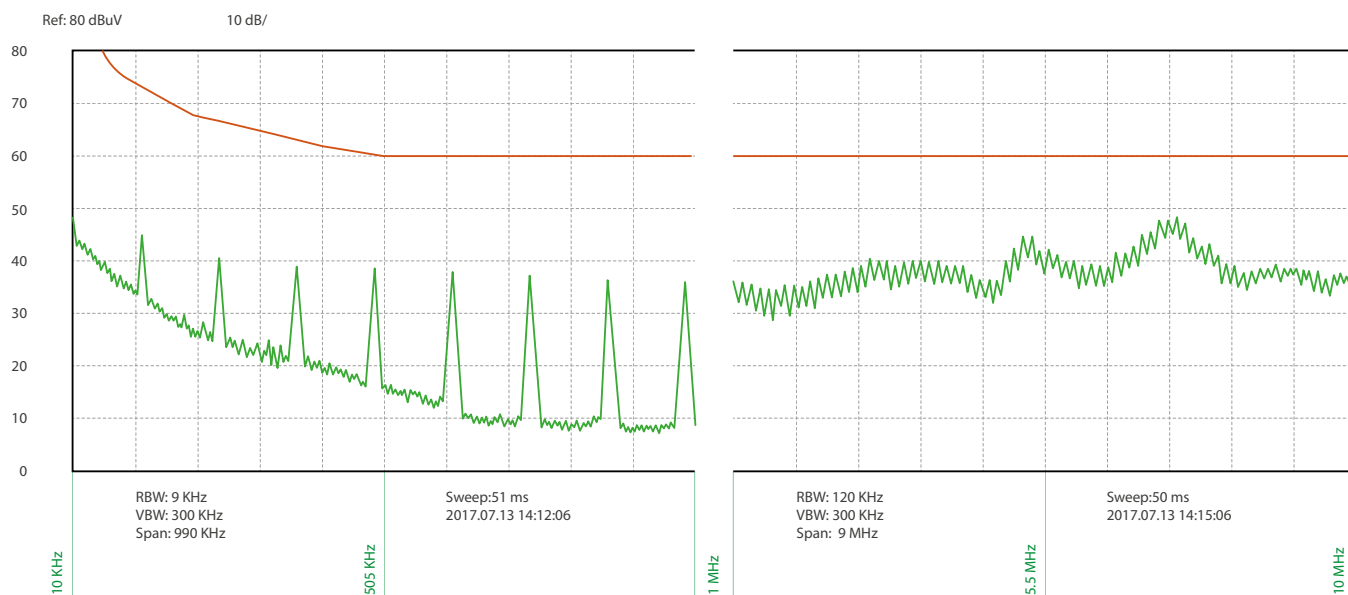


Рис. 66. Спектрограмма ЭМС MDV80-1A05.

10.1.6. Модули MDV120, MDV160

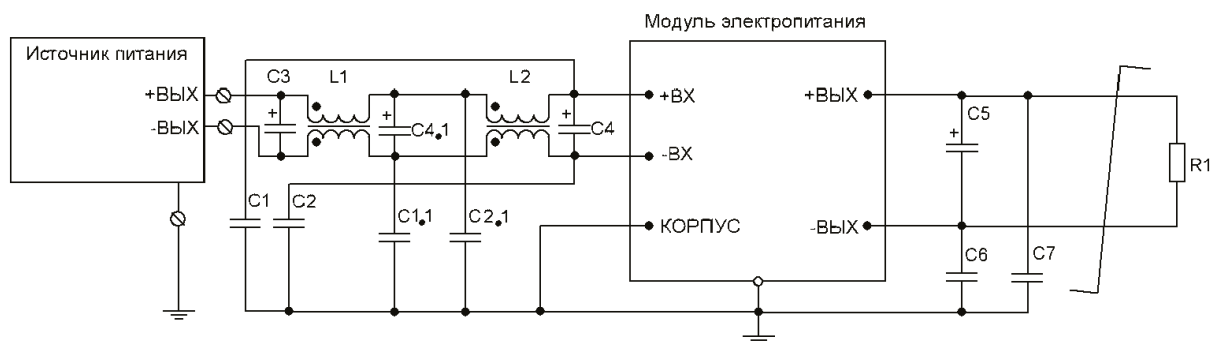


Рис. 67. Схема включения одноканального модуля электропитания MDV120, MDV160.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C1.1, C2.1 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C3, C4, C4.1 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 900–1600 мкГн.
- L2 – дроссель номиналом 3–7 мГн.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
120; 160	470–680	6,8	470–680	150–330	6,8	150–330	68–120	6,8	68–120

Табл. 14. Параметры шунтирующих конденсаторов MDV120, MDV160.

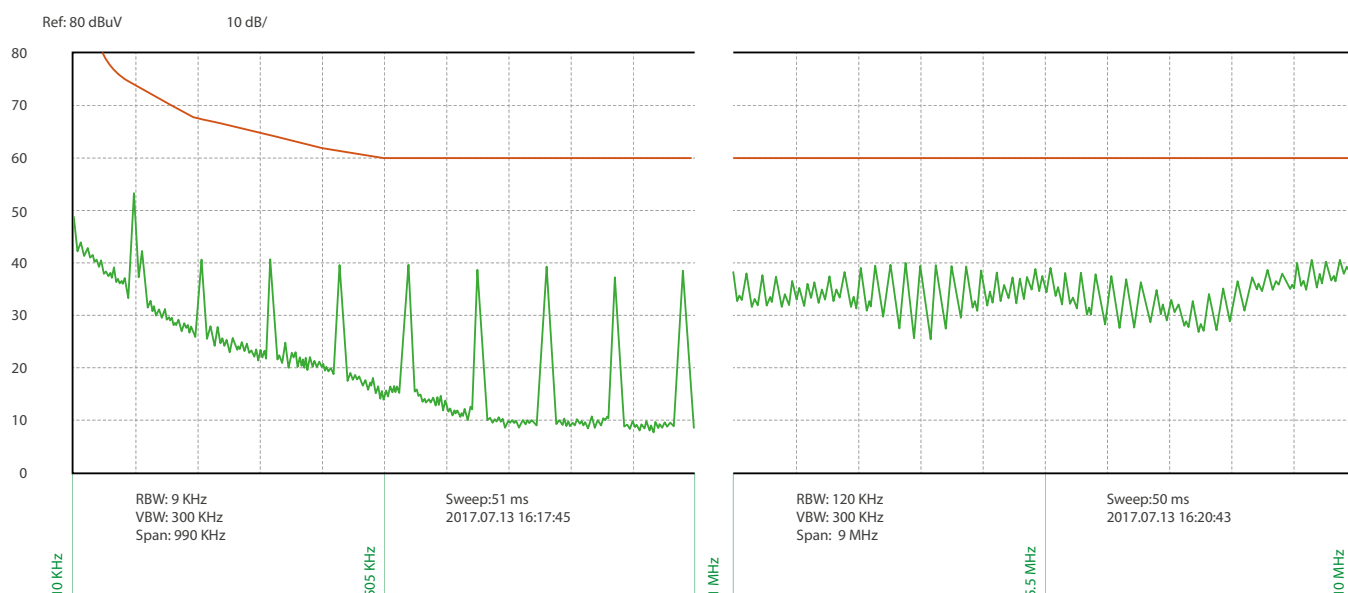


Рис. 68. Спектрограмма ЭМС MDV160-1A27.

10.1.7. Модули MDV320, MDV400, MDV500

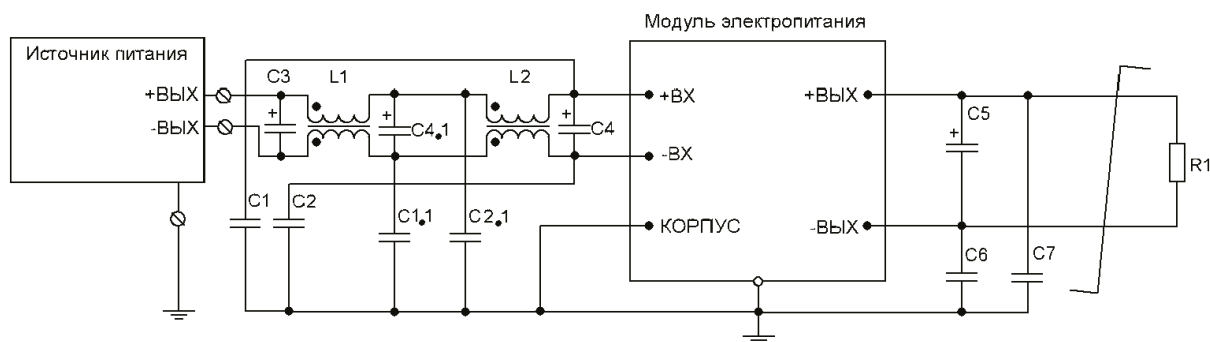


Рис. 69. Схема включения одноканальных модулей электропитания MDV320, MDV400, MDV500.

- C1, C2 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C1.1, C2.1 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C3, C4, C4.1 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует $C_{ВХ}$ танталовый в таблице.
- C5 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует $C_{ВЫХ}$ танталовый в таблице.
- C6, C7 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель номиналом 900–1600 мкГн.
- L2 – дроссель номиналом 3–7 мГн.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В								
	12			24, 27			60		
	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ	Керамич., $C_{ВХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВЫХ}$, мкФ	Танталовый, $C_{ВХ}$, мкФ
320; 400	680–2000	22	680–2000	220–680	22	220–680	100–220	22	100–220
500	–	–	–	330–1000	22	330–1000	100–330	22	100–330

Табл. 15. Параметры шунтирующих конденсаторов MDV320, MDV400, MDV500.



Рис. 70. Спектрограмма ЭМС MDV320-1A27.

10.2. ЭМС модулей серии MDVH

10.2.1. Модули MDVH30, MDVH40

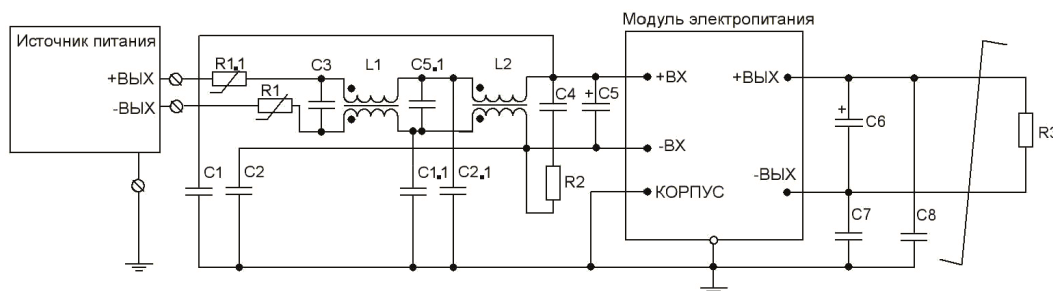


Рис. 71. Схема включения одноканального модуля электропитания MDVH30, MDVH40.

- C1, C1.1, C2, C2.1 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C3 – конденсатор типа CL21 стандарта GB7335. Номинал соответствует C3 пленочный в таблице.
- C4 – конденсатор типа CL21 стандарта GB7335, номиналом 0,15 мкФ соответствующего рабочего напряжения.
- C5, C5.1 – электролитический конденсатор. Номинал соответствует C_{ВХ} в таблице.
- C6 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует C_{ВЫХ} танталовый в таблице.
- C7, C8 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель 1900–2200 мкГн.
- L2 – дроссель 19,5–22 мГн.
- R1, R1.1 – терморезистор 2 Ом (с отрицательным ТКС).
- R2 – резистор 1 Ом.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В					
	110			230		
	Плёночный, СЗ, мкФ	Электролит, С _{ВХ} , мкФ	Танталовый, С _{ВЫХ} , мкФ	Плёночный, СЗ, мкФ	Электролит, С _{ВХ} , мкФ	Танталовый, С _{ВЫХ} , мкФ
30; 40	0,22–0,68	22–100	3,3	0,22–0,68	6,8–22	3,3

Табл. 16. Параметры шунтирующих конденсаторов MDVH30, MDVH40.

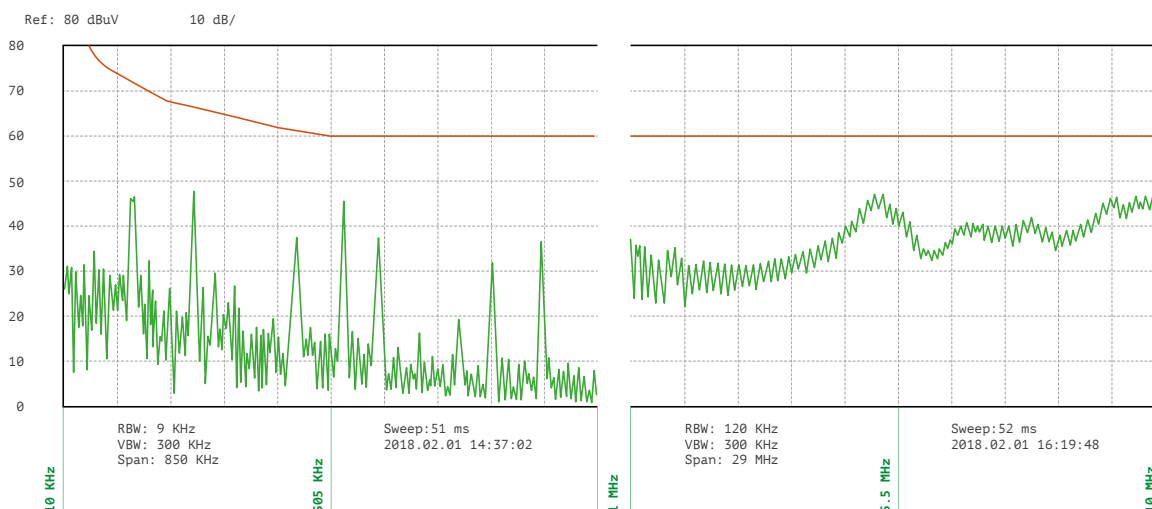


Рис. 72. Спектрограмма ЭМС MDVH40-1M05.

10.2.2. Модули MDVN80, MDVN120, MDVN160

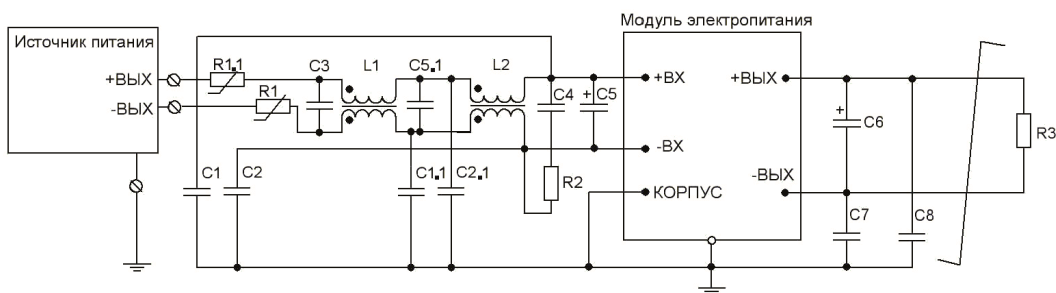


Рис. 73. Схема включения одноканального модуля электропитания MDVN80, MDVN120, MDVN160.

- C1, C1.1, C2, C2.1 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C3 – конденсатор типа CL21 стандарта GB7335. Номинал соответствует C3 пленочный в таблице.
- C4 – конденсатор типа CL21 стандарта GB7335, номиналом 0,15 мкФ соответствующего рабочего напряжения.
- C5, C5.1 – электролитический конденсатор. Номинал соответствует C_{ВХ} в таблице.
- C6 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует C_{ВЫХ} танталовый в таблице.
- C7, C8 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель 1900–2200 мкГн.
- L2 – дроссель 19,5–22 мГн.
- R1, R1.1 – терморезистор 2 Ом (с отрицательным ТКС).
- R2 – резистор 1 Ом.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В					
	110			230		
	Плёночный, C3, мкФ	Электролит., C _{ВХ} , мкФ	Танталовый, C _{ВЫХ} , мкФ	Плёночный, C3, мкФ	Электролит., C _{ВХ} , мкФ	Танталовый, C _{ВЫХ} , мкФ
80	0,22–0,68	47–220	4,7	0,22–0,68	22–150	4,7
120; 160	0,47–1,0	68–330	6,8	0,47–1,0	33–220	6,8

Табл. 17. Параметры шунтирующих конденсаторов MDVN80, MDVN120, MDVN160.

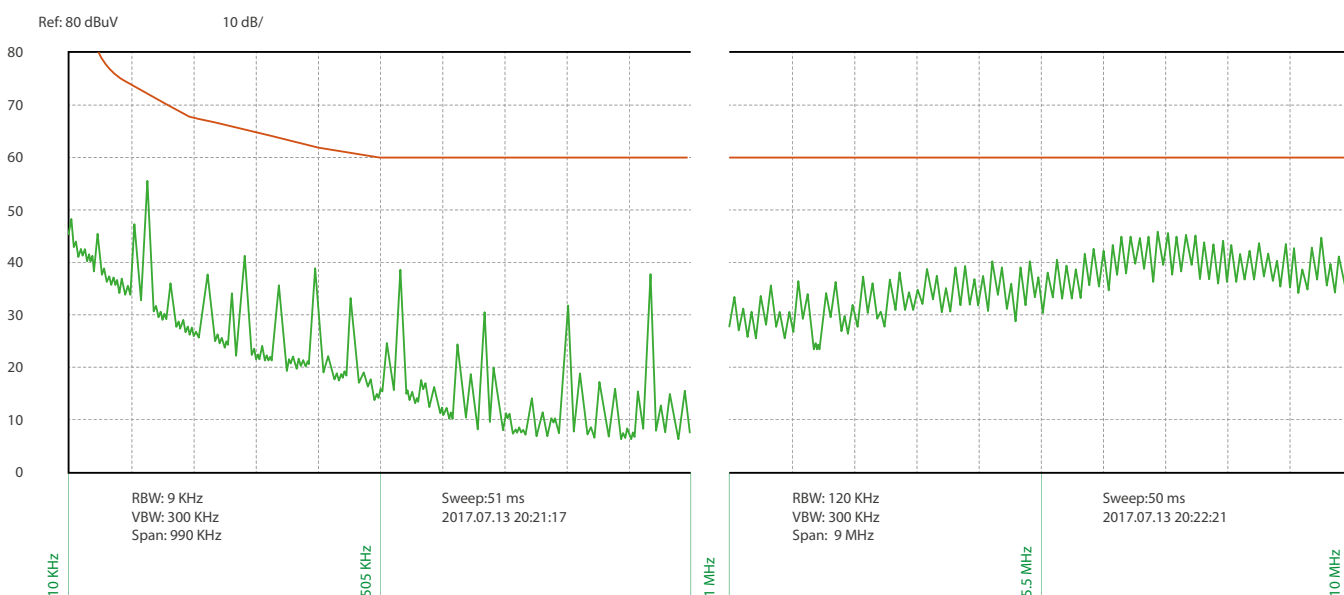


Рис. 74. Спектрограмма ЭМС MDVN120-1M27.

10.2.3. Модули MDVN320, MDVN400, MDVN500

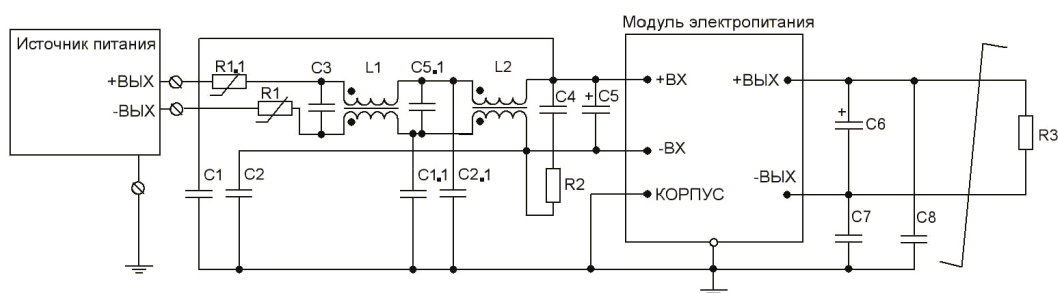


Рис. 75. Схема включения одноканального модуля электропитания MDVN320, MDVN400, MDVN500.

- C1, C1.1, C2, C2.1 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- C3 – конденсатор типа CL21 стандарта GB7335. Номинал соответствует C3 пленочный в таблице.
- C4 – конденсатор типа CL21 стандарта GB7335, номиналом 0,15 мкФ соответствующего рабочего напряжения.
- C5, C5.1 – электролитический конденсатор. Номинал соответствует C_{ВХ} в таблице.
- C6 – танталовый конденсатор. Номинал соответствует C_{ВЫХ} танталовый в таблице.
- C7, C8 – керамический конденсатор, номиналом 2200–4700 пФ.
- L1 – дроссель 1900–2200 мкГн.
- L2 – дроссель 19,5–22 мГн.
- R1, R1.1 – терморезистор 2 Ом (с отрицательным ТКС).
- R2 – резистор 1 Ом.

Номинальная выходная мощность, Вт	Номинальное значение входного напряжения, В					
	110			230		
	Плёночный, СЗ, мкФ	Электролит., С _{ВХ} , мкФ	Танталовый, С _{ВЫХ} , мкФ	Плёночный, СЗ, мкФ	Электролит., С _{ВХ} , мкФ	Танталовый, С _{ВЫХ} , мкФ
320; 400	0,47–1,0	150–330	22	0,47–1,0	33–82	22
500	0,47–1,0	150–470	22	0,47–1,0	33–100	22

Табл. 18. Параметры шунтирующих конденсаторов MDVN320, MDVN400, MDVN500.



Рис. 76. Спектрограмма ЭМС MDVN500-1M27.

11. Аварийные режимы и неисправности

Характер неисправности	Причины	Способ устранения
Отсутствие выходного напряжения. МП не включается (все параметры по ТУ)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Входное напряжение вне диапазона рабочих значений. 2. Не подключены выводы выносной обратной связи. 3. Возможно используются протяженные силовые линии от первичного источника. Входная емкость отсутствует или несоответствующего номинала. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Входное напряжение должно быть в диапазоне рабочих значений согласно ТУ. 2. Подключить выводы «ОС» к выходным выводам соответствующей полярности. 3. Использовать минимально допустимое значение входной емкости, располагать ее максимально близко к входным выводам.
Значение выходного напряжения сильно выше номинального на 20–30 %	<ol style="list-style-type: none"> 1. Используется регулировка напряжения несоответствующим способом. 2. Не подключены выводы выносной обратной связи. 3. Не подключена нагрузка или ее значение менее 10% от номинального. 4. Сработала защита от перенапряжения по выходу. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Регулировка напряжения осуществляется в диапазоне $\pm 5\%$. 2. Подключить выводы «ОС» к выходным выводам соответствующей полярности. 3. Минимальная подгрузка МП 10 %^[4].
Выходное напряжение пилообразного вида, с амплитудой 30–50 % от номинального	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сработала защита от короткого замыкания. 2. МП не может запуститься в связи с превышенным значением выходной емкости. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Устранить короткое замыкание в нагрузке или в компоненте выходной обвязки. 2. Обеспечить максимально допустимое суммарное значение емкости или снизить активную составляющую нагрузки.
При набросе/сбросе нагрузки — высокое значение переходного отклонения выходного напряжения	<ol style="list-style-type: none"> 1. При сбросе/набросе длительность фронта нарастания выходного тока меньше 500 мкс. 2. Диапазон изменения выходного тока выше допустимого. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличить значение выходной емкости. 2. Обеспечить требуемый диапазон изменения выходного тока или подгрузить модуль до минимального значения 10 %. 3. Использовать специализированную серию МДМ-А^[5].
Пulsации выше 2 %	<ol style="list-style-type: none"> 1. Некорректная методика измерения. 2. Не подключены выводы выносной обратной связи. 3. Резонанс пассивных компонентов фильтра радиопомех модуля и внешнего фильтра радиопомех. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Провести измерение в соответствии с требованиями раздела «методы измерения пульсаций». 2. Подключить выводы «ОС» к выходным выводам соответствующей полярности. 3. Изменить частотные свойства внешнего фильтра.
В двух-, трехканальном МП нестабильное напряжение каналов	Не достаточно нагружен первый канал.	Обеспечить минимальную подгрузку первого канала.
При работе более 1 часа МП начинает выключаться	МП перегревается. Суммарная площадь теплоотвода недостаточная или теплоотвод отсутствует.	Увеличить площадь теплоотвода для обеспечения рабочего температурного диапазона корпуса.
ЭМС не соответствует стандартам EN55022	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неполная обвязка модуля питания. 2. Неправильная методика измерения. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Использовать рекомендуемую схему включения с соблюдением всех номиналов. 2. При измерении требуется использовать методику согласно соответствующему стандарту.
Величина пускового тока с момента подачи входного напряжения выше норм ТУ	При подаче входного напряжения пусковой ток не нормируется.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Можно воспользоваться внешними ограничителями пускового тока, например: НТС-термистор. 2. При включении использовать функцию дистанционного управления.
При работе преобразователя слышится сильный акустический шум	<p>Такое явление вызвано пульсациями тока, протекающим в индуктивных элементах и проводниках, что в свою очередь сопровождается акустическим шумом. Основная причина — динамическое изменение тока нагрузки с высокой частотой.</p> <p>Возможные причины: динамическое изменение выходного тока с высокой частотой; недостаточная ёмкость.</p>	Проверить корректность внешней обвязки.

Табл. 19. Аварийные режимы и неисправности.

[4] Кроме серии МДМ-А.

[5] С возможностью исключения выходного накопителя.



www.aedon.ru

mail@aedon.ru

Компания «АЕДОН» — ведущий российский разработчик
и производитель DC/DC преобразователей и систем
электропитания для ответственных сфер применения.

Россия, 394026,
Воронеж, ул. Дружинников, 5б
8 800 333 81 43

Россия, 129626,
Москва, пр-т Мира, 104
+7 499 450-29-05, доб. 321