

Пульсации выходного напряжения DC/DC преобразователей. Способы измерения и снижения.

Содержание

Введение	02
Причины возникновения пульсаций $U_{вых}$ DC/DC преобразователей	02
Нормирование значений пульсаций $U_{вых}$ в модулях серии МДМ	03
Рекомендации по измерению значений пульсаций $U_{вых}$	03
Способы контроля значений пульсаций $U_{вых}$	04
Способы снижения значений пульсаций $U_{вых}$	06

Введение

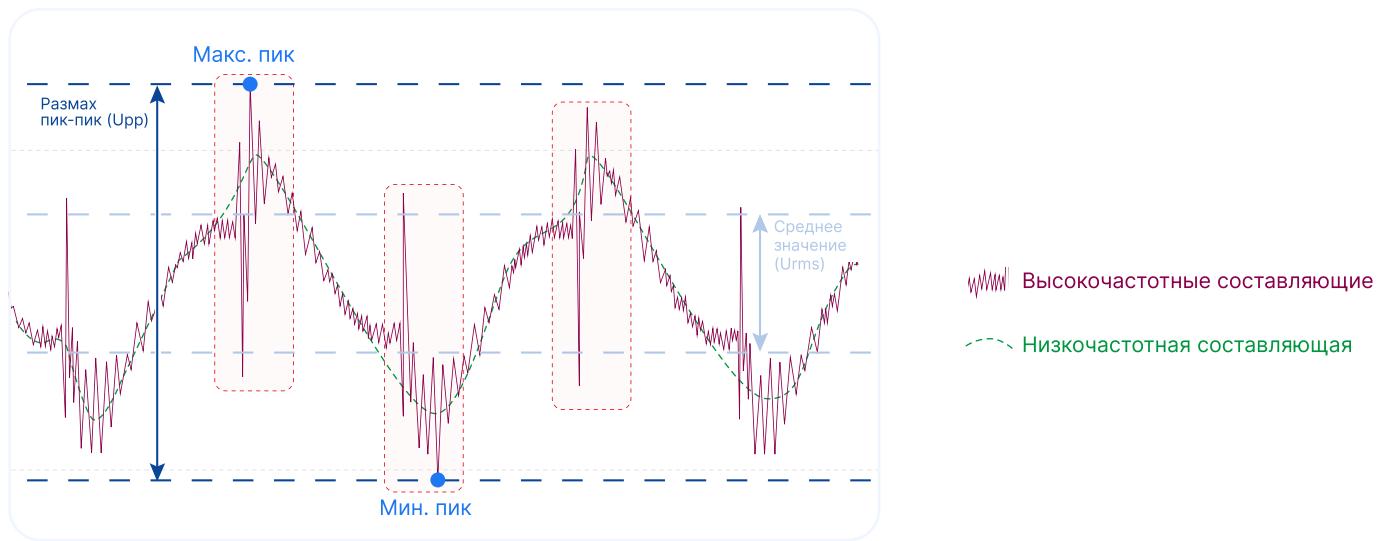
При организации систем электропитания с использованием импульсных DC/DC- преобразователей (далее – модулей) одним из важнейших параметров выходного напряжения ($U_{вых}$) являются пульсации. Настоящий документ содержит общие сведения о параметре “пульсации $U_{вых}$ ”, способы их корректного измерения, а также рекомендации по снижению значений пульсаций $U_{вых}$ для модулей серии МДМ.

Причины возникновения пульсаций выходного напряжения DC/DC преобразователей

Все импульсные DC/DC-преобразователи являются источниками помех, связано это с работой полевых транзисторов в ключевом режиме и дискретным перекачиванием энергии через реактивные компоненты, обладающие инерционностью. Как правило, наибольшая помеха наблюдается на основной частоте преобразования (если используется ШИМ регулирование) и в зависимости от схемотехники составляет 100-1000 кГц.

Суммарное значение пульсации $U_{вых}$ состоит из двух составляющих:

- **Низкочастотная составляющая (ripple):** колебания на основной частоте преобразования, вызванные процессами заряда и разряда выходных LC-фильтров.
- **Высокочастотные радиопомехи (noise):** кратковременные всплески («иглы»), возникающие вследствие переходных процессов при коммутации силовых ключей и влияния паразитных параметров конструкции. В большинстве случаев данные всплески являются наведённой (индуктивной) помехой при измерениях, которая в действительности на проводниках и нагрузке отсутствует.



Нормирование пульсаций

- В технической документации на модули «МДМ» нормируется размах «пик-пик» (Upp) – полная амплитуда от нижней до верхней точки.
- Сравнение Upp со среднеквадратичным значением (Urms) некорректно, так как они могут различаться в 3,5 или 10 раз, при этом Urms не раскрывает величину высокочастотных всплесков.

Нормирование значений пульсаций $U_{вых}$ в модулях серии МДМ

Согласно техническим условиям (ТУ), пульсации нормируются в % от номинального выходного напряжения или в мВ в зависимости от серии и исполнения.

Нормы размаха $U_{вых}$ для серии модулей МДМ:

- МДМ-П, -Р, -Н, -А: не более 2% при нагрузке от 10% до 100%.
- МДМ-С:

не более 1% (для $U_{вых} \leq 5$ В – не более 70 мВ) при нагрузке 10–100%;

не более 2% (до 150 мВ) при нагрузке 0–10%.

- МДМ-Б: 20...120 мВ в зависимости от исполнения.

Важно!

- **Холостой ход:** при нагрузке менее 10% пульсации могут быть выше, если не указано другое. Это связано с особенностями работы схемы обратной связи модуля.
- **Обязательная обвязка:** для стабильной работы модуля серии МДМ необходимо соблюдать рекомендации по внешней обвязке, указанной в документации.
- **Объединение минуса входа и выхода** преобразователя, а также **отсутствие заземления вывода "Корпус"** (ground) негативно сказывается на величине пульсаций.

Рекомендации по измерению пульсаций $U_{вых}$

Для получения корректных результатов процесс измерения должен учитывать ряд нюансов по настройке оборудования и подготовке рабочего места и оснастки, необходимо исключить влияние внешних факторов, а также необходимо учитывать технические условия применения модулей серии МДМ.

Общие условия измерений

Оценку значений пульсаций $U_{вых}$ допускается проводить в любых режимах работы модуля серии МДМ, например, при минимальном/номинальном/ максимальном входном напряжении и различных значениях нагрузки. Параметры подбираются аналогичные тем, которые будут при работе в составе изделия. В большинстве случаев для предварительной оценки достаточно лабораторных условий (НКУ).

Настройка измерительного оборудования

- Использовать связь по переменному току (AC coupling) для отсечения постоянной составляющей напряжения;
- Ограничивать полосу пропускания (Bandwidth Limit) значением 20 МГц.

Дополнительно

Это общепринятый мировой стандарт, принятый для DC/DC преобразователей.

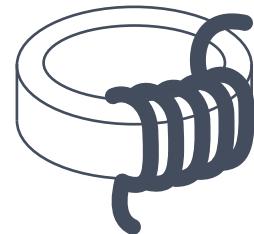
Рекомендации по монтажу и топологии ПП

Ошибки в топологии печатной платы могут привести к значительному искажению результатов измерения пульсаций. Для обеспечения заявленных значений пульсаций модулей серии МДМ важно соблюдать правила трассировки и монтажа.

- **Размещение конденсаторов:** входной и выходной конденсаторы, а также другие компоненты фильтра, необходимо размещать максимально близко к штыревым выводам модуля.
- **Трассировка силовых дорожек:** Силовые линии должны иметь постоянную ширину, рассчитанную исходя из максимального тока нагрузки. Необходимо стремиться к минимизации площади токовых контуров и исключению длинных заземляющих петель.
- **Экранирование и заземление:** Рекомендуется использовать единый сплошной земляной слой на лицевой стороне платы, который закрывает наибольшую площадь под преобразователем.
- **Навесной монтаж:** Если используется навесной монтаж, силовые провода следует обязательно скручивать в «витую пару».

 Не допускается прокладывать провода над корпусом преобразователя со стороны штыревых выводов

- **Ферритовое кольцо:** Позволяет подавить высокочастотные помехи (наводки), возникающие в кабеле осциллографа из-за проявления эффекта антенны, а также при использовании навесного монтажа. При использовании ферритовых колец (марок N30, T38 и аналогичных) рекомендуется делать 3–5 витков измерительного кабеля вокруг сердечника и размещать его в непосредственной близости к входному разъему осциллографа.



Подробные рекомендации по монтажу и топологии ПП приведены в документе [Подключение преобразователя и проверка характеристик](#) на нашем сайте.

Способы измерения пульсаций $U_{\text{ых}}$

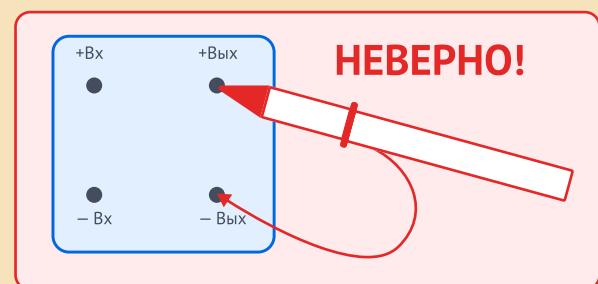
Процесс измерения значений пульсаций осложнен влиянием наведенных электромагнитных помех, которые в действительности на проводниках и нагрузки отсутствуют. Для получения корректных данных необходимо соблюдать следующие рекомендации.

Зажим «крокодил»

Использование стандартного щупа осциллографа с длинным заземляющим проводником типа «крокодил» крайне не рекомендуется для измерения пульсаций DC/DC-преобразователей.

Важно!

Данный метод не позволяет получить достоверную картину из-за наведенной помехи, что приводит к появлению ложных высокочастотных «игл» и существенному завышению реальных значений пульсаций.



Для получения корректных значений пульсаций рекомендуется использовать специальные заземляющие пружинки или BNC-гильзы, распаянной на печатную плату, минимизирующую наведенную помеху.

Пружинка

Доступным и быстрым способом для минимизации контура заземления является использование заземляющей «пружинки» вместо «крокодила». Данный способ дает форму сигнала, близкую к реальной, однако, все же не гарантирует полной защиты от наводок. Поэтому, предпочтительным методом измерения является метод с применением BNC-гильзы.

BNC-гильза

Способ регламентирован в ТУ для серий МДМ-Н, -Б, -С и позволяет увидеть фактическую кондуктивную помеху без внешних наводок. На «минус» выхода распаявается алюминиевое BNC-гнездо, в которую вставляется PP005-BNC гильза-переходник под стандартный щуп осциллографа. Такая конструкция экранирует точку измерения.

Дополнительно:

- Для модулей серий МДМ-П, МДМ-Р и МДМ-А в технических условиях регламентировано использование специального измерительного приспособления на базе RC-цепочки;
- Оно представляет собой небольшую плату с конденсатором и последовательным сопротивлением, которое подключается к выходу модуля с помощью витой пары;
- Однако для предварительной оценки можно использовать метод с использованием BNC-гильзы.

Сравнение способов измерения

Оценка влияния способа измерения на значения пульсаций $U_{вых}$ приведена ниже:

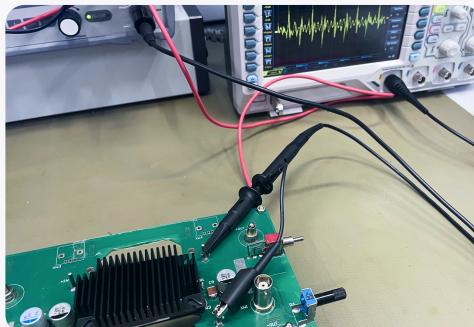
Условия: НКУ; Полоса пропускания 20 МГц

Модуль: МДМ120-1В27РДС $U_{вых}=27$ В; $I_{вых}=100\%$; $U_{вых}=27$ В

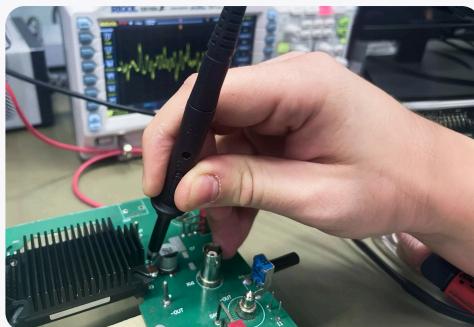
Способ измерения пульсаций

С использованием зажима «крокодил»

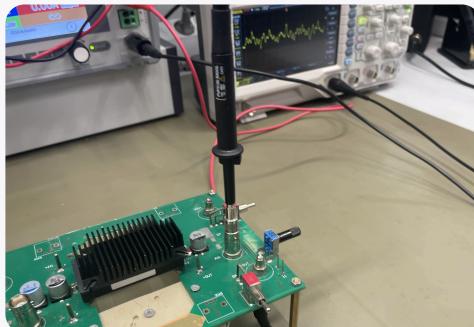
Иллюстрация



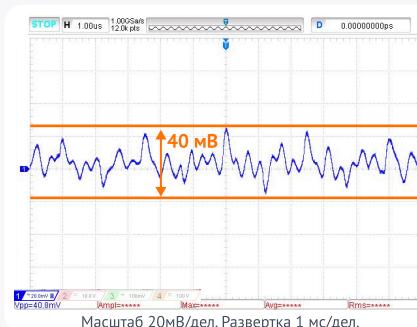
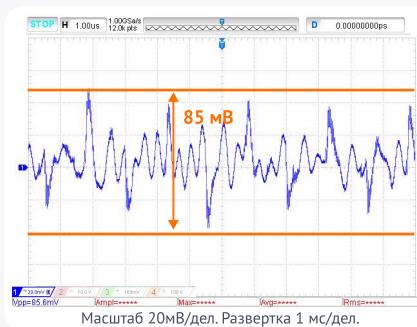
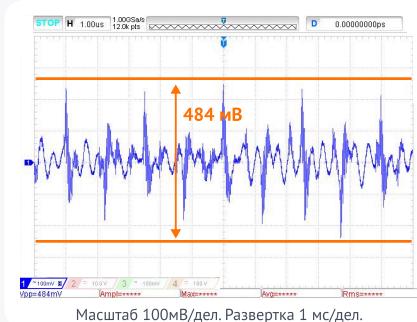
С использованием «пружинки»



С использованием «гильзы»-экрана и сквозного гнезда



Результат



Способы снижения пульсаций $U_{вых}$

Для проверки работоспособности и измерении электрических характеристик модулей серии «МДМ» необходимо учитывать рекомендации по схеме включения, обязательными элементами которой являются входной и выходной конденсаторы. Однако, если требуется снизить значения пульсаций $U_{вых}$, это можно сделать с помощью дополнительных компонентов. Рассмотрим основные способы для снижения пульсаций $U_{вых}$.

Синфазные и дифференциальные конденсаторы

Х-конденсаторы (фильтрация дифференциальной помехи): устанавливаются керамические или полимерные чип-конденсаторы параллельно основным tantalовым конденсаторам с низким ESR и используются для подавления помех, возникающих между линиями питания «плюс-минус».

Дополнительно:

- Параллельное включение нескольких конденсаторов снижает суммарное эквивалентное сопротивление (ESR), что позволяет лучше подавлять высокочастотные «иглы».
- Использование разных типов конденсаторов помогает фильтровать помехи на разных диапазонах частот.

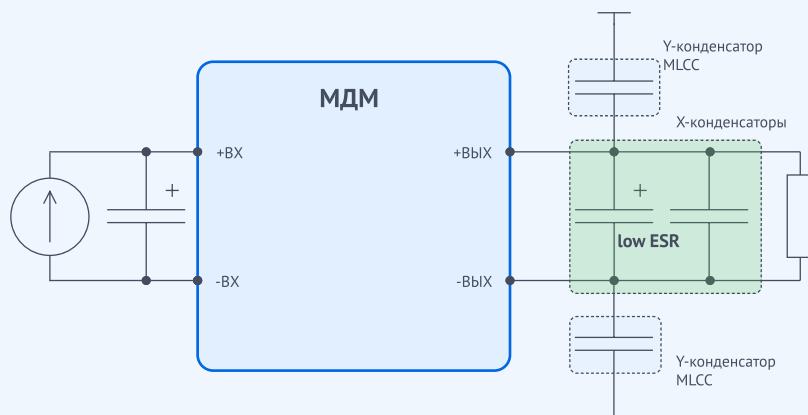
Y-конденсаторы (фильтрация синфазной помехи): устанавливаются керамические (MLCC) конденсаторы между линиями питания и «землей» (корпусом), которые предназначены для фильтрации помех и наводок, распространяющихся по обоим проводникам линии питания в одном направлении относительно «земли» и возникающих из-за паразитных емкостных связей между проводниками и внутри преобразователя.

⚠️ Важно!

Рабочее напряжение Y-конденсаторов должно быть не ниже напряжения изоляции модуля «на корпус», чтобы не снижать значение электрической прочности изоляции между силовыми цепями и корпусом.

Дополнительно:

Значения пульсаций для модуля МДМ160-1В18МУП (160 Вт, вход 27 В, выход 18 В) БКЯЮ.436630.001ТУ составили:



- Без внешних компонентов: **750 мВ**;
- С рекомендованным tantalовым конденсатором $C_{вых} = 6,8 \text{ мкФ}$: **300 мВ**;
- С дополнительными Y-конденсаторами емкостью $C_{вых} = 4,7 \text{ нФ}$ с выходных полюсов на землю: **240 мВ**;
- С дополнительным керамическим конденсатором $C_{вых} = 1 \text{ мкФ}$, подключенным параллельно tantalовому: **120 мВ**.

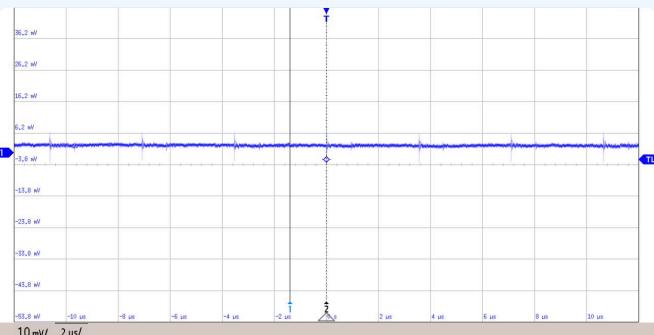
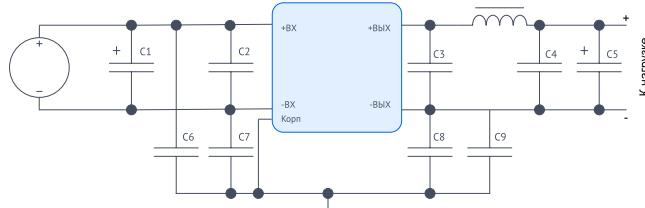
Ознакомиться с экспериментом можно в [видеоролике](#) на нашем Дзен-канале.

LC-фильтры

Для достижения минимальных значений пульсаций (например, менее 10 мВ) может быть эффективным применение LC-фильтров, которые позволяют фильтровать дифференциальные помехи на основной частоте преобразования.

Дополнительно:

Значения пульсаций $U_{\text{вых}}$ для модуля МДМ120-Р (120 Вт, выход 15 В, вход 27 В) с применением LC-фильтра и Y-конденсаторов составили менее 10 мВ:



C1 100uF 90V Tantalum Cap.

C2 3ps.4.7uF 100V X7R 1210 MLCC

C3 9ps.22uF 25V X7R 1210 MLCC

C4 5ps.22uF 25V X7R 1210 MLCC

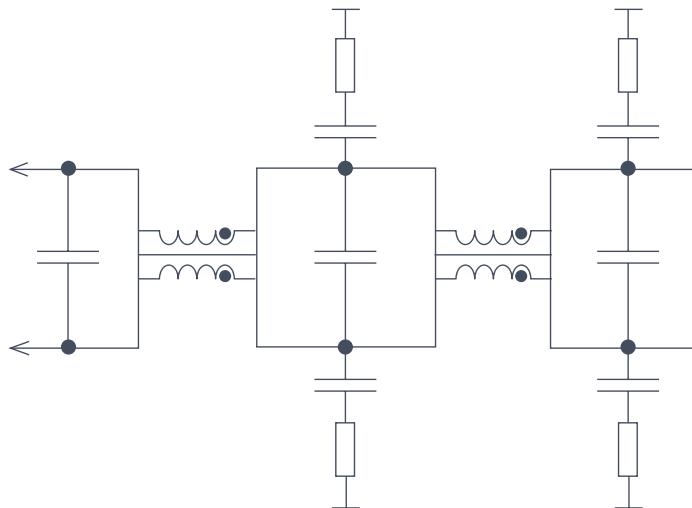
C5 470uF 25V 10x10-case Polymer Cap.

C6-C9 0.01uF 500V X7R 1206 MLCC

L1 22uH SRP12 65A-220M

Модули фильтрации

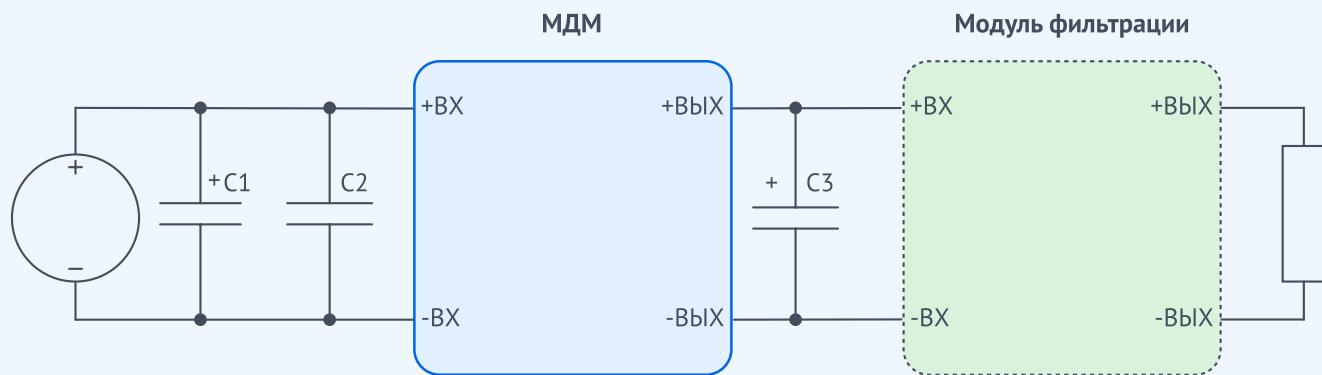
Модули МДМ-Ф и МРМ представляют из себя двухзвенные LC-фильтры, которые необходимы для снижения в широком диапазоне частот кондуктивных помех во входных цепях включения преобразователей, однако их применение на выходе преобразователя помогают снизить пульсации $U_{\text{вых}}$.



Однако их применение на выходе преобразователя также может помочь в задачах снижения пульсаций $U_{\text{вых}}$.

Дополнительно:

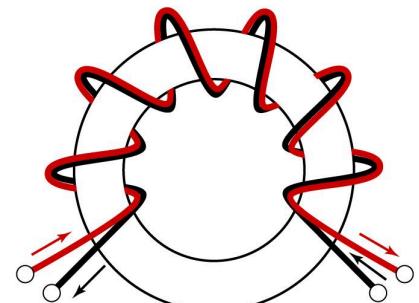
Значения пульсаций для модуля МДМ50-1Б24ТУР без модуля фильтрации составляют **272 мВ**, а с добавлением на выход фильтра МРМ1-В2,5ДМУ снижает их до значения **26,4 мВ**.



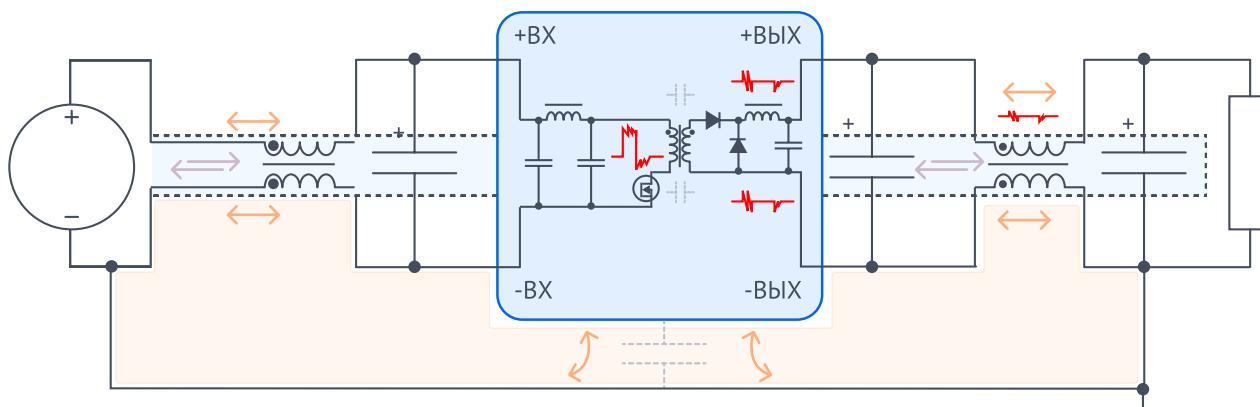
Ознакомиться с экспериментом можно в [видеоролике](#) на нашем Дзен-канале.

Решение проблемы «общего минуса»:

В системах, где минус входа и выхода преобразователя (-ВХ и -ВЫХ) напрямую соединены с корпусом («землей»), помехи с первичной стороны передаются на выход и способны значительно увеличить размах пульсаций. Для снижения влияния такой связи рекомендуется выход преобразователя развязывать синфазными дросселями с бифилярной намоткой на сердечник или модулем фильтрации содержащим синфазные дроссели (например МДМ-Ф, МРМ), которые будут фильтровать несимметричную синфазную помеху, при этом пропускать рабочий (дифференциальный) ток нагрузки.



На рисунке ниже показан пример решения проблемы «общего минуса» с помощью синфазных дросселей.



↔ Емкостная связь

↔ Коммутационные помехи

↔ Дифференциальный ток

↔ Синфазные помехи

Дополнительно:

Эксперимент с модулем МДМ50-1Б24ТУР показал снижение размаха пульсаций с **3,3 В** до **40 мВ** при использовании фильтра МРМ1-В2,5ДМУ, который в составе имеет два последовательно соединенных синфазных дросселя.

Ознакомиться с экспериментом можно в [видеоролике](#) на нашем Дзен-канале.



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, 56

+7 (473) 300–300–5, 8 800 333-81-43

По всем вопросам и с предложениями вы можете обращаться напрямую к составителям данного руководства:

Чувенков Александр	achuvenkov@aedon.ru	+7 (473) 300–300–5 #262
Туровский Алексей	aturovskii@aedon.ru	+7 (473) 300–300–5 #195