

ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Содержание

Введение.....	1
Характеристики модулей МДМ.....	2
Пример теплового расчета.....	2
Выбор радиатора.....	2
Выбор готового радиатора.....	2
Расчет площади радиатора.....	3
Рекомендации к применению термоинтерфейсов.....	3
Дерейтинг.....	3
Измерение температуры корпуса.....	4

Введение

Миниатюризация преобразователей напряжения остается актуальным трендом и ключевым требованием в силовой электронике. Достижению этой цели способствует активная разработка новых схемотехнических решений и совершенствование компонентной базы, что позволяет существенно повышать энергоэффективность устройств при одновременном снижении тепловых потерь. Однако, миниатюризация и значительное увеличение энергетической плотности (мощности в единице объёма) требует особое внимание к обеспечению теплового режима, контроля и компоновки внутри аппаратуры.

Современные DC/DC преобразователи АЕДОН (модули) достигают энергетической плотности (ЭП) до 8900 Вт/дм³ при КПД до 94%. Пример тенденции развития модулей МДМ при одинаковой мощности приведен на рисунке ниже.

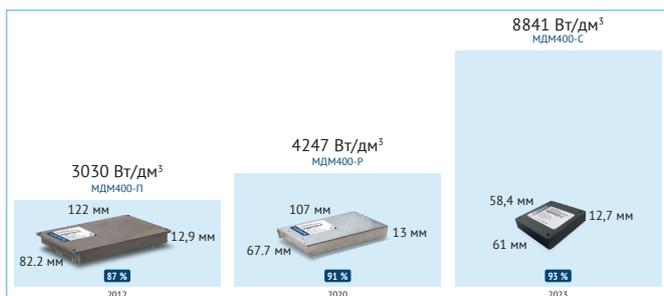


Рис. 1. Пример сравнения разных поколений модулей МДМ.

Одной из важнейших задач при использовании преобразователей является обеспечение рабочего диапазона температуры корпуса, который напрямую связан с надежностью и наработкой системы на отказ:

- Применение преобразователей в предельно-допустимом режиме при температуре корпуса близкой к максимальной $T_{\text{КОРП}}=T_{\text{МАКС}}$; на полной мощности $I_{\text{ВЫХ}}=I_{\text{НОМ}}$, снижает в 3...5 раз гамма-процентную наработку до отказа относительно эксплуатации в типовом режиме при $T_{\text{КОРП}}=0,7 \times T_{\text{МАКС}}$; $I_{\text{ВЫХ}}=0,7 \times I_{\text{НОМ}}$;
- Превышение максимально-допустимой температуры корпуса $T_{\text{КОРП.МАКС}}$ преобразователя приведет к локальному перегреву его компонентов и срабатыванию тепловой защиты, а в некоторых случаях к выходу преобразователя из строя.

Сегодня для оценки тепловых режимов преобразователя используют следующие подходы:

- Моделирование в САПР

Позволяет достаточно точно оценить нагрев компонентов с различными видами радиаторов, учесть особенности компоновки в аппаратуре. Однако является трудоемким процессом, требующим дополнительных знаний и наличия специального САПР. При этом не всегда гарантируется сходимость моделируемых и фактических результатов в работе.

- Экспериментальная оценка

Оценку температуры преобразователя проводят в лабораторных условиях за счет экспериментов в режимах близких к эксплуатационным.

Такой подход позволяет получить фактические температурные значения преобразователя, однако требует наличия образцов изделий и дополнительные затраты: на проведение экспериментов, подготовку оснастки и воссоздание макета конечной аппаратуры. При этом финальный результат не гарантируется (как и в случае с САПР) в особенности при плотной компоновке, закрытых конструкциях аппаратуры, где учесть всевозможные нюансы невозможно.

- Предварительный тепловой расчет (с учетом рекомендаций производителя):

Данный метод заключается в расчете температур и анализе результатов, за счет использования данных из технической документации производителя. Позволяет быстро оценить тепловые потери и необходимость внешнего теплоотвода. Результаты такого метода не могут заменить в полной мере более сложные методики модели-

рования и экспериментов, однако в ряде случаев могут быть хорошей альтернативой.

Далее мы рассмотрим примеры предварительных расчетов и характеристики модулей электропитания МДМ (далее - модули), обратим внимание на особенности измерения температуры на корпусе и выделим важные рекомендации.

Характеристики модулей МДМ

Тепловые расчеты необходимо начинать с изучения электрических и общих характеристик преобразователя, которые указаны в даташитах (ДШ) или технических условиях (ТУ):

Рабочая температура корпуса ($T_{КОРП}$, °C) - диапазон температур, в котором модуль сохраняет заявленные характеристики.

Максимальная температура корпуса ($T_{МАКС}$, °C) - предельно-допустимое значение температуры в самой горячей точке корпуса модуля.

Температура окружающей среды ($T_{ОКР}$, °C) - диапазон температуры воздуха в непосредственной близости от преобразователя.

Значения $T_{КОРП}$, $T_{МАКС}$, $T_{ОКР}$ определяют возможность применения модуля в конкретных условиях.

Важно! Не допускается работа модуля питания вне рабочих температур корпуса.

КПД (η) - Величина эффективности работы модуля [$0 < \eta < 1$].

Зная КПД модуля можно оценить тепловые потери по формуле (1):

$$P_{ПОТЕРЬ} = \frac{P_{ВЫХ}}{\eta} - P_{ВЫХ} \quad (1)$$

$P_{ВЫХ}$ – выходная мощность нагрузки

Для каждого типа модуля в ДШ приводятся графики, показывающие зависимость КПД от нагрузки и входного напряжения $U_{ВХ}$.

Пример такого графика для модуля мощностью $P_{НОМ}=50$ Вт при выходном напряжении $U_{ВЫХ} = 24$ В приведен ниже.

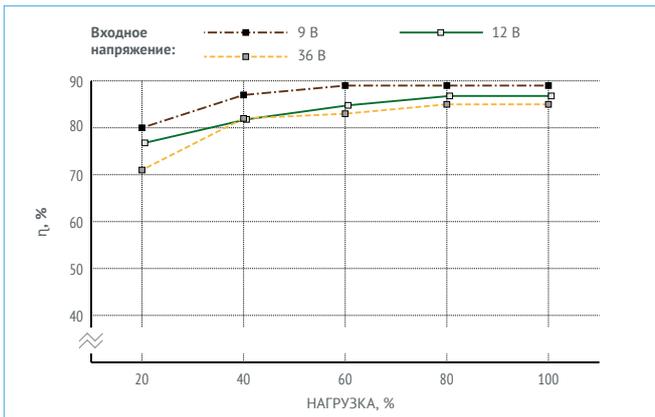


Рис. 2. КПД для МДМ50-1Б24ТУР.

Рекомендуется выбирать модуль из серий таким образом, чтобы он имел высокое значение КПД в основном режиме работы (как правило, при нагрузке 40-80%).

Тепловое сопротивление «корпус модуля - окружающая среда» ($R_{КОРП.СРЕДА}$) - характеристика, определяющая перегрев корпуса модуля относительно окружающей среды при рассеивании 1 Вт мощности тепловых потерь.

Как правило, значение $R_{КОРП.СРЕДА}$ определяется производителем экспериментально и вычисляется по формуле (2):

$$R_{КОРП.СРЕДА} = \frac{T_{КОРП} - T_{ОКР.СРЕДА}}{P_{ПОТЕРЬ}} \quad (2)$$

Значение $R_{КОРП.СРЕДА}$ для модулей МДМ указывается в документации и всегда является ориентировочным, измеренным в определенных условиях. Значение может быть увеличено при небольшой разнице между $T_{КОРП}$ и $T_{ОКР}$ и затрудненном движении теплового потока.

Пример теплового расчета

В расчете оценим допустимость применения модуля МДМ50-1Б24ТУР без радиатора, работающего на полной нагрузке $P_{ВЫХ} = 50$ Вт для следующих температурных условий $T_{ОКР1} = 25$ °C; $T_{ОКР2} = 50$ °C.

В ДШ или ТУ смотрим: $T_{МАКС} = 125$ °C; $R_{КОРП.СРЕДА} = 12,5$ °C/Вт;

Исходя из [Рис. 2]:

КПД ≈ 88% (при $U_{ВХ} = 12$ В)

тогда определяем мощность тепловых потерь

$$P_{ПОТЕРЬ} = 50 / 0,88 - 50 = 6,8 \text{ Вт}$$

Для $T_{ОКР1} = 25$ °C и $T_{ОКР2} = 50$ °C можем определить на сколько разогрется корпус

$$1) T_{КОРП.РАСЧ1} = T_{ОКР} + P_{ПОТЕРЬ} \times R_{КОРП.СРЕДА} = 25 + 12,5 \times 6,8 = 110^\circ\text{C}$$

$$2) T_{КОРП.РАСЧ2} = 50 + 12,5 \times 6,8 = 135^\circ\text{C}$$

Полученное значение $T_{КОРП.РАСЧ1} = 110$ °C показывает допустимость применения модуля при $T_{ОКР1} = 25$ °C без дополнительного внешнего теплоотвода (радиатора).

А вот значение $T_{КОРП.РАСЧ2}$ составляет 135 °C, что больше $T_{МАКС} = 125$ °C и означает невозможность применения данного модуля при $T_{ОКР2} = 50$ °C без дополнительного внешнего теплоотвода (радиатора).

После предварительного расчета можно определить допустимость применения модуля и подобрать внешний радиатор, при необходимости провести повторный расчет уже с учётом наличия радиатора. При подборе и применении радиатора важно соблюсти ряд рекомендаций, позволяющих увеличить эффективность теплоотвода.

Подбор радиатора

Выбор готового радиатора

Ошибки в выборе радиатора, термоинтерфейса или ошибки монтажа могут свести на нет все усилия с тепловыми расчетами.

Ниже приведены практические рекомендации, основанные на особенностях конструкции модулей МДМ и многолетнем опыте их применения в условиях повышенных тепловых нагрузок.

Для модулей МДМ целесообразно использовать готовые дюралюминиевые радиаторы серии «РО» с поперечным или продольным расположением ребер.

Важно! Модули МДМ мощностью от 60 Вт должны быть установлены на радиатор или другое теплораспределяющее основание, например, корпус аппаратуры.

Отсутствие теплоотводящей поверхности для мощных модулей может привести к локальному перегреву силовых компонентов. Толщина данной должна быть не менее 4 мм (для алюминия) и увеличивается с ростом мощности.

Пример радиатора приведен на рисунке ниже. В ДШ на серию «РО» приводятся модели, подходящие для большинства серий модулей МДМ мощностью от 3 до 1000 Вт.



Рис. 3. Пример радиатора серии «РО».

Расположение ребер должно совпадать с направлением воздушного потока в аппаратуре.

Данные радиаторы предназначены для обеспечения необходимого теплового режима модулей электропитания за счет оптимально подобранной площади теплоотводящей поверхности.

Расчет площади радиатора

Если применение готовых радиаторов невозможно (например, из-за ограничений по габаритам или нестандартной компоновки), необходимую площадь теплоотводящей поверхности можно рассчитать самостоятельно. Для этого используется экспериментально выведенная формула (3), учитывающая перегрев модуля относительно окружающей среды и мощности потерь.

$$S = \frac{20 \times 35 \times P_{\text{РАСС}}}{T_{\text{МАКС}} - T_{\text{ОКР.СР}}} \text{ см}^2 \quad (3)$$

Важно! Данная формула получена экспериментально с применением тестовой алюминиевой пластины толщиной 4 мм, показывает, что для обеспечения перегрева модуля питания на 35 °С выше температуры окружающей среды потребуется радиатор площадью 20 см² на каждый 1 Вт рассеиваемой мощности.

Пример расчета необходимой площади радиатора ($S_{\text{РАД}}$) произвольной формы:

для условий $T_{\text{ОКР.СРЕДН}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$,

$T_{\text{КОРП}} =$ не более 97,5 °С и $P_{\text{ПОТЕРЬ}} = 6,8 \text{ Вт}$ (из примера выше):

$$S_{\text{РАД}} = 20 \times 35 \times 6,8 / (97,5 - 35) = 76,2 \text{ см}^2$$

В данном случае достаточно плоского участка алюминиевой стенки аппаратуры размером 85 × 90 мм без дополнительного ребрения. Так же можно применить радиатор серии «РО» II-го типоразмера с поперечным расположением ребер. Данный радиатор имеет габаритные размеры 50 × 30 × 14 мм и площадь 74 см².

Рекомендации к применению термоинтерфейсов

Даже при использовании радиатора с оптимальной площадью и конструкцией отсутствие термоинтерфейса снижает эффективность теплоотвода. Термоинтерфейсы заполняют микронеровности поверхности корпуса модуля и радиатора, обеспечивая равномерный тепловой контакт и минимизируя тепловое сопротивление между корпусом модуля и радиатором ($R_{\text{РАДИАТОР-СРЕДА}}$).

Ниже приведены рекомендации по выбору и применению термоинтерфейсов для модулей МДМ:

- Допускается применение любых термоинтерфейсов с высоким коэффициентом теплопроводности, например, термопрокладки ЗМ 8810 толщиной 0,5-1 мм или термопасты КПТ-8 толщиной слоя <0,25 мм;
- Если модули не имеют крепежных фланцев допускается использовать термопроводящий клей, например, Алсил 5;
- Толщина термоинтерфейса должна быть минимальной для равномерного контакта и улучшения теплопроводности между модулем и радиатором;
- При выборе термоинтерфейса нужно учитывать срок службы и возможность замены (обслуживания).

Ознакомиться о влиянии радиатора и термоинтерфейсов на нагрев модуля можно видеоролике по [ссылке](#).

Дерейтинг

Дерейтинг - рекомендация к снижению выходной мощности преобразователя относительно увеличения $T_{\text{ОКР}}$ для соблюдения требований к допустимой температуре преобразователя ($T_{\text{МАКС}}$).

В документации (ДШ) на модуль приводятся графики ограничения $P_{\text{ВЫХ}}$ от $T_{\text{ОКР}}$ (Дерейтинг) для разных исполнений $U_{\text{ВЫХ}}$ и в зависимости от $U_{\text{ВХ}}$: без радиатора, с «штатным» радиатором и с принудительным обдувом.

Примеры можно увидеть ниже:

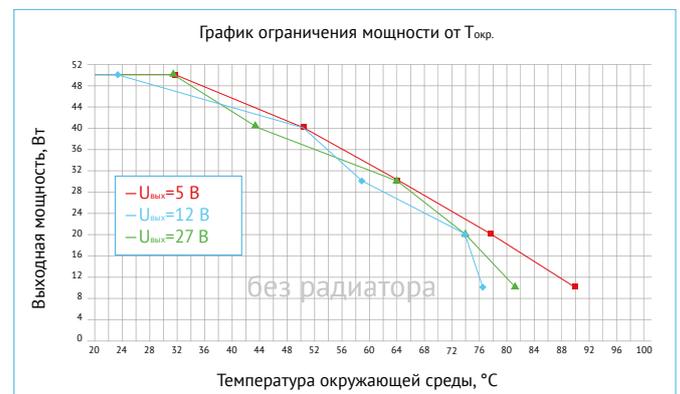


Рис. 4. Пример графика дерейтинга без радиатора.

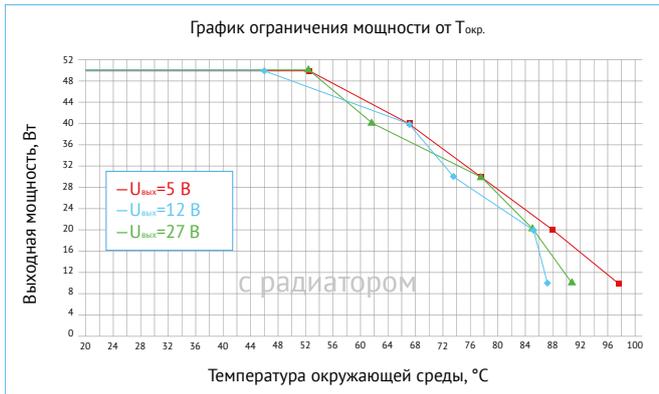


Рис. 5. Пример графика дерейтинга с радиатором.

Горизонтальный участок тепловой кривой соответствует максимальной выходной мощности модуля питания, и температура корпуса модуля на этой части имеет примерно одинаковый перегрев ΔT относительно температуры окружающей среды $T_{\text{окр}}$.

Спадающий участок графика, на котором необходимо снижение мощности соответствует температуре корпуса близкой к $T_{\text{макс}}$.

На примере этих графиков [Рис. 4], [Рис. 5] видно, что наличие радиатора увеличивает максимальную температуру окружающей среды при которой модуль может работать на полную мощность на 22 градуса (30 °C без радиатора и 52 °C с радиатором).

Наличие принудительного обдува значительно снижает тепловое сопротивление ($R_{\text{радиатор.среда}}$) и позволяет использовать преобразователь на полную мощность при еще более высоких $T_{\text{окр}}$.

В этом можно убедиться на графиках [Рис. 6], [Рис. 7], использование принудительного обдува со скоростью потока 2,5 м/с позволяет увеличить температуру окружающей среды на 75 градусов.

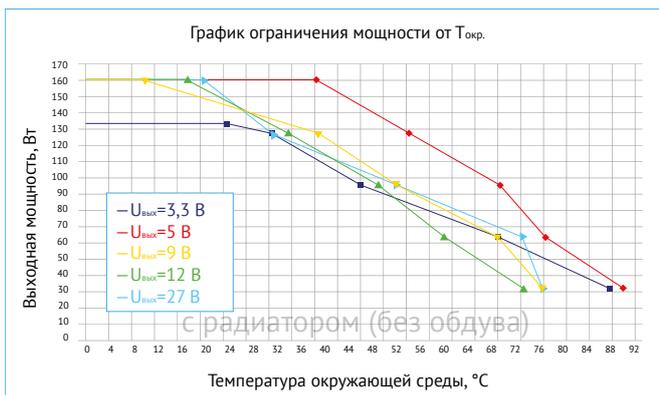


Рис. 6. Пример графика дерейтинга без обдува.

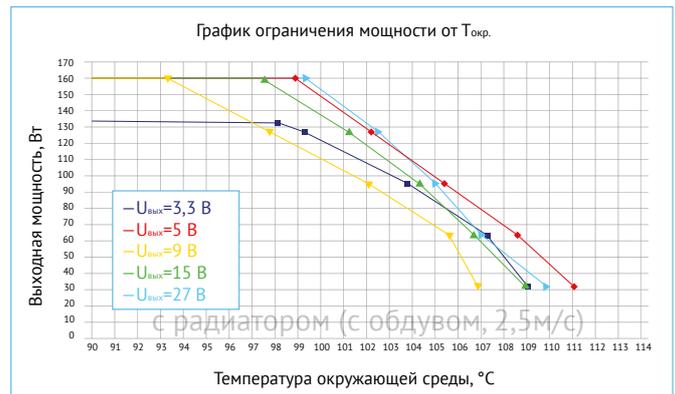


Рис. 7. Пример графика дерейтинга с принудительным обдувом.

Важно! Необходимо избегать эксплуатации модуля на спадающем участке тепловой кривой без обеспечения запаса.

Измерение температуры корпуса

Современные методы контроля температуры корпуса преобразователей включают использование бесконтактных приборов: тепловизоров и пирометров. Однако их эффективность напрямую зависит от оптических свойств поверхности. Например, никелированные или полированные корпуса отражают инфракрасное излучение, что приводит к значительному занижению фактической температуры корпуса.

При бесконтактном способе измерения температуры важно учитывать материал корпуса или радиатора, из которого он изготовлен.

Особенности материалов корпусов МДМ:

- Алюминиевый с микродуговым оксидированием. Минимально искажает показания тепловизоров.
- Медный с покрытием химический никель. Имеет высокую отражательную способность, что искажает показания бесконтактных приборов (тепловизоров, пирометров).

Информацию о материале корпуса можно найти в ДШ.

Рекомендации:

- Для измерения температуры корпуса рекомендуется использовать специализированные лабораторные измерители и терморегуляторы с контактными датчиками (термопарой).
- При контактном методе измерения рекомендуется установить датчик непосредственно на корпус в «каплю» теплопроводящие пасты.
- При использовании бесконтактных методов необходимо наклеить кусочек специальной теплопроводящей черной матовой ленты на измеряемую зону. Это повысит степень черноты поверхности.
- Избегайте попадания посторонних ИК-источников (солнце, нагреватели) в поле зрения тепловизора или пирометра.
- Проводите замеры в установившемся режиме работы модуля (через 20–30 минут после включения).

На фотографиях ниже [Рис. 8], [Рис. 9], [Рис. 10], [Рис. 11] приведены сравнительные результаты измерения температуры разными методами: контактный и бесконтактный; для разных типов корпуса - алюминиевый с покрытием МДО, медный с покрытием хим.никель.



Рис. 8. Измерения $T_{корп}$ модуля из алюминия с покрытием МДО. Контактный метод.



Рис. 9. Измерения $T_{корп}$ модуля из алюминия с покрытием МДО. Бесконтактный метод - тепловизор.

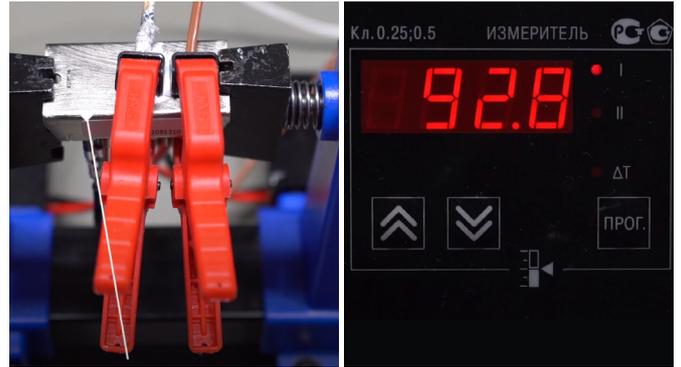


Рис. 10. Измерения $T_{корп}$ модуля из меди с покрытием хим. никель. Контактный метод.



Рис. 11. Измерения $T_{корп}$ модуля из меди с покрытием хим. никель. Бесконтактный метод - тепловизор.

Как видно, разница в показаниях температуры корпуса при измерении контактным и бесконтактным способом для алюминия (корпус «черный» [Рис. 8]) незначительная, около 3 градусов. А при измерении медного (корпус «блестящий» [Рис. 10]) разница значительная, около 55 градусов, тепловизор не определяет фактическую температуру корпуса, в этом случае помог бы наклеенный кусочек теплопроводящей черной матовой ленты.

Пример измерения температуры корпуса модуля МДМ можно посмотреть в [видеоролике](#).



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:**

Чуvenков Александр achuvenkov@aedon.ru +7 (473) 300-300-5 #262

Туровский Алексей aturovskii@aedon.ru +7 (473) 300-300-5 #195