

Оценка надёжности DC/DC преобразователей серии МДМ

Содержание

Введение	02
Модель оценки безотказности	02
Нормирование надёжности в модулях серии МДМ	05
Рекомендации по условиям работы и сравнению DC/DC преобразователей	05
Меры обеспечения надёжности для модулей серии МДМ	06

Введение

Настоящий документ описывает подходы к оценке показателей надёжности DC/DC преобразователей серии МДМ. Рассматриваются используемые показатели и методы их расчёта, а также меры обеспечения надёжности DC/DC преобразователей при производстве.

Модель оценки безотказности

Основным нормируемым свойством, определяющим способность системы электропитания (или отдельного DC/DC-преобразователя) выполнять заданные функции в течение требуемой наработки, является безотказность. Для её оценки на стадии разработки применяют расчётный метод, основанный на поэлементной модели интенсивности отказов и экспоненциальном законе распределения отказов λ .

Расчёт эксплуатационной интенсивности отказов

У каждого компонента известна базовая интенсивность отказов λ_0 (размерность – 1/ч) – справочная величина, соответствующая номинальным условиям работы. Её значение берут из документации производителя или из отраслевых справочников (например, MIL-HDBK-217).

Для реальных условий эксплуатации эта величина пересчитывается в эксплуатационную интенсивность отказов λ для каждого компонента или группы одинаковых компонентов:

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_{\text{кач}} \cdot K_{\text{окр}} \cdot K_{\text{реж}} \cdot K_{\text{тем}} \cdot N$$

где:

- λ_0 – базовая интенсивность отказов компонента;
- $K_{\text{кач}}$ – коэффициент качества изготовления;
- $K_{\text{окр}}$ – коэффициент внешних условий (для модулей МДМ, залитых компаундом, $K_{\text{окр}} = 1$);
- $K_{\text{реж}}$ – коэффициент электрической нагрузки;
- $K_{\text{тем}}$ – температурный коэффициент;
- N – количество одинаковых компонентов.

По данной формуле находят интенсивность отказов для каждой группы однотипных компонентов, работающих в одинаковых условиях. Общую интенсивность отказов преобразователя (или системы в целом) находят суммированием по всем группам:

$$\lambda_{\text{общ}} = \sum \lambda_i$$

где λ_i – интенсивность отказов i -ой группы одинаковых компонентов преобразователя.

⚠ Важное допущение модели

Приведённая модель основана на двух важных допущениях:

1. Отказ любого компонента приводит к отказу всего изделия, в котором он находится. Это даёт консервативную инженерную оценку и позволяет на ранних этапах исключить заведомо ненадёжные варианты построения системы электропитания.
2. Интенсивность отказов считается постоянной ($\lambda = \text{const}$). Это допущение справедливо не на всём сроке службы, а только на этапе нормальной эксплуатации.

Периоды жизни изделия и наработка

Интенсивность отказов не остаётся постоянной в течение всего срока службы. Типовой характер её изменения во времени описывается λ -характеристикой, на которой выделяют три основных периода:

1. **Период приработки** — интенсивность отказов может быть повышена из-за скрытых производственных дефектов.
2. **Период нормальной эксплуатации** — постоянная интенсивность отказов ($\lambda = \text{const}$), определяется экспоненциальным законом распределения вероятности безотказной работы. Именно для этого периода определяются основные показатели безотказности.
3. **Период износа (старения)** — рост интенсивности отказов вследствие деградации компонентов.

⚠ Важно!

Экспоненциальный закон неприменим для периодов приработки и износа, поэтому при оценке безотказности эти периоды не рассматриваются.

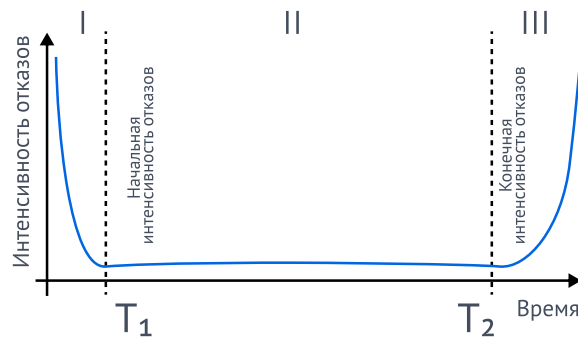


Рис. 1 — Изменение интенсивности отказов во времени (λ -характеристика)

Основными показателями безотказности в период нормальной эксплуатации являются **средняя наработка на отказ (MTBF)** и **гамма-процентная наработка до отказа (T_γ)**. Оба показателя выражаются в часах и выводятся из интенсивности отказов λ . Рассмотрим их подробнее.

Показатели безотказности: MTBF и T_γ

- MTBF (Mean Time Between Failures, средняя наработка на отказ) — показывает, сколько в среднем времени работает изделие между отказами (от одного отказа до следующего). Рассчитывают как отношение суммарной наработки всех изделий к общему числу отказов.

$$\text{MTBF} = 1 / \lambda$$

⚠ Важно!

MTBF характерно для группы изделий и не позволяет предсказать, когда выйдет из строя конкретное изделие. Данный показатель удобен для сравнения изделий и расчёта систем с резервированием и чаще встречается в зарубежной документации.

- Гамма-процентная наработка до отказа (T_γ) — наработка, в течение которой отказ изделия не возникнет с вероятностью γ .

$$T_\gamma = -\ln(\gamma/100) / \lambda$$

Важно!

T_γ, в отличие от MTBF, позволяет оценить наработку, которая будет обеспечена с заданной вероятностью безотказной работы γ . Например, значение T_γ при $\gamma = 97,5\%$ означает, что 97,5% изделий из партии проработают не менее этого времени.

Связь между MTBF и T_γ

Из определений следует соотношение:

$$T_\gamma = -\ln(\gamma/100) \times \text{MTBF}$$

При $\gamma \approx 37\%$ значение T_γ оказывается численно равно MTBF. Физически это означает, что для большой партии модулей вероятность проработать без отказа в течение времени, равного расчетного значения MTBF, составляет всего около 37%. Иными словами, к этому моменту из строя выйдет примерно 63% изделий.

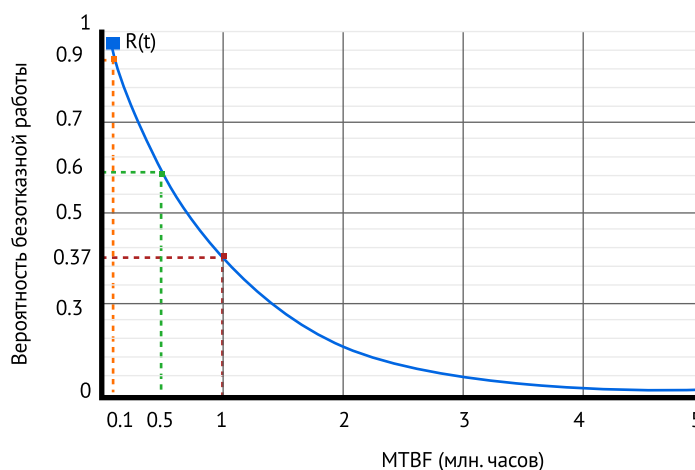


Рис 2 - Экспоненциальная кривая надёжности

В зарубежной практике для оценки надёжности устройств с очень низкой интенсивностью отказов (например, телекоммуникационного оборудования) часто используют показатель **FIT (Failures In Time)** – количество отказов за 10^9 часов наработки, определяемое как:

$$\text{FIT} = 10^9 / \text{MTBF}.$$

Примечание

MTBF, T_γ и FIT характеризуют безотказность в период нормальной эксплуатации. Они не связаны напрямую с показателями долговечности, такими как **назначенный ресурс или срок службы**, которые задаются исходя из требований к продолжительности эксплуатации и не определяются интенсивностью случайных отказов.

Таким образом, конкретные значения MTBF и T_γ всегда привязаны к условиям, в которых они были получены или рассчитаны (температура, нагрузка, значение γ). Поскольку разные производители могут указывать эти показатели при разных условиях, их прямое сравнение без учёта этих условий некорректно. Практические правила сравнения преобразователей приведены в следующем разделе.

Нормирование надежности в модулях серии МДМ

В ТУ на модули МДМ выделены три режима эксплуатации, различающиеся электрической и тепловой нагрузкой. Для каждого из них нормируется значение гамма-процентной наработки до отказа T_γ (при $\gamma = 97,5\%$)

Режим	Условия	T_γ , ч	MTBF (расчетный), ч
Облегченный	$P_{\text{вых}} \leq 50\%$ от $P_{\text{ном}}$, температура корпуса $\leq 50\%$ от $T_{\text{корп. макс}}$	75 000	~ 3 млн
Типовой	$P_{\text{вых}} \leq 70\%$ от $P_{\text{ном}}$, температура корпуса 50-70% от $T_{\text{корп. макс}}$	50 000	~ 2 млн
Предельно-допустимый	$P_{\text{вых}} = 100\%$ при температуре корпуса, близкой к $T_{\text{корп. макс}}$	10 000	~ 0,6 млн

Дополнительно

Значения T_γ зависят от серии модуля и приведены в ТУ на конкретную серию.

Также в ТУ нормируется срок службы (20 лет) – календарный интервал, включающий периоды хранения, простоев и работы.

Примечание

Модули серии МДМ с указанными значениями T_γ могут эксплуатироваться в течение указанного срока службы при условии, что суммарное время их включённого состояния за этот период не превысит значение T_γ .

Рекомендации по условиям работы и сравнению DC/DC преобразователей

При сравнении DC/DC преобразователей разных производителей по показателям надёжности следует придерживаться следующих правил:

- **Сравнивать MTBF или T_γ только при одинаковой температуре корпуса.** Два модуля с одинаковым MTBF, но подтверждённым при разных температурах, будут иметь разную наработку до отказа в одних и тех же условиях.

Важно!

Работа при повышенной температуре корпуса ускоряет деградацию компонентов и ведёт к снижению надёжности изделия (рост температуры корпуса на 20°C снижает MTBF в 1,7...2 раза).

Дополнительно

Подробная информация о тепловых режимах модулей МДМ приведена на нашем сайте в разделе <https://aedon.ru/recommendations/> – "Оценка и обеспечение тепловых режимов DC/DC преобразователей".

- **При сравнении значений T_γ необходимо учитывать значение γ .** Значение $T_\gamma = 50\,000$ ч при $\gamma = 97,5\%$ соответствует более высокому уровню безотказности, чем те же $50\,000$ ч при $\gamma = 95\%$. Если производители указывают T_γ для разных γ , для корректного сравнения следует привести показатели к общей вероятности по формуле:

$$T_{\gamma_2} = T_{\gamma_1} \cdot \ln(\gamma_2/100) / \ln(\gamma_1/100)$$

Заданная безотказность преобразователя обеспечивается соблюдением рекомендуемых производителем условий его работы - режимы эксплуатации, указанные в разделе выше.

Меры обеспечения надежности для модулей серии МДМ

Схемотехнические и конструктивные меры

Надёжность модулей МДМ закладывается на этапах выбора компонентов, схемотехнических и конструктивных решениях, а также подтверждается при производственных испытаниях:

- Защита и теплоотвод – заливка эпоксидным компаундом защищает от внешних воздействий (вибрация, влажность, агрессивные среды) и улучшает распределение тепла.
- Прочность изоляции – модули МДМ имеют изоляцию между входом, выходом и корпусом, заявленные изоляционные свойства сохраняются в течение всего срока службы.

Дополнительная информация

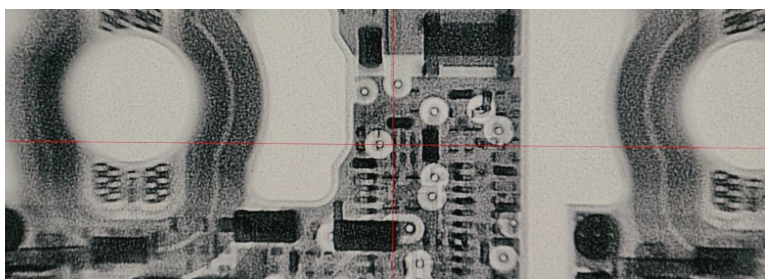
Подробная информация приведена на нашем сайте в разделе <https://aedon.ru/recommendations/>:

- “Конструктивные особенности модулей МДМ”
- “Обеспечение и методы контроля изоляции в модулях МДМ”

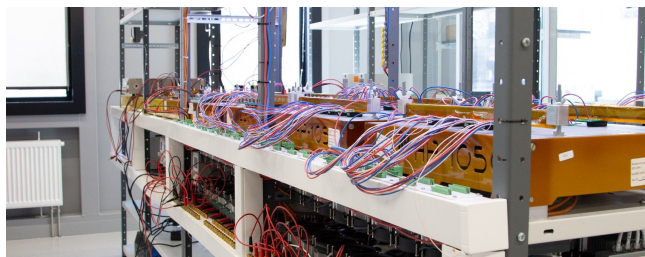
Обеспечение надёжности на уровне производства

Для достижения заданной надёжности изделий в производственном цикле для каждого модуля серии МДМ все без исключения модули, отправляемые клиенту проходят через следующие этапы:

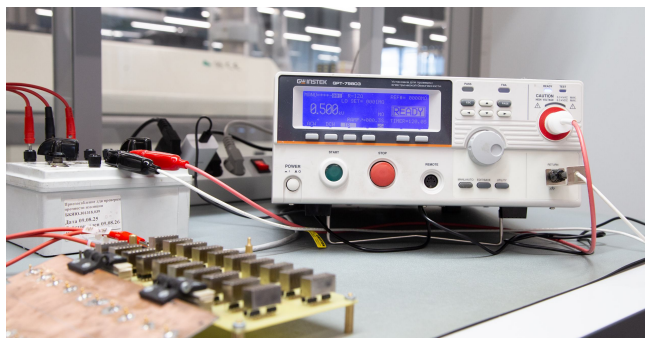
- Входной контроль компонентов – отбраковка некачественных элементов до начала производства.
- Автоматическая оптическая инспекция (AOI) – выявление смещений компонентов, дефектов пайки, шариков припоя после SMT-линии.
- Проверка электрической прочности изоляции – кратковременная подача испытательного напряжения между цепями входа, выхода и корпусом.
- Климатические испытания – выдержка модулей в камере тепла и холода при минимальной и максимальной температурах.
- Электрический контроль параметров – подтверждение соответствия заданным электрическим характеристикам.
- Электротермотренировка – модули устанавливаются на нагревательные панели, подключаются к нагрузкам и работают 1–2 часа при максимальной нагрузке и повышенной температуре корпуса.



Устранение дефектов и ручной монтаж



Стенд для электротермотренировки



Стенд для проверки прочности изоляции

Производственные испытания

Дополнительно, для накопления статистики и подтверждения соответствия требованиям надёжности для модулей серий МДМ осуществляются производственные испытания:

- **Кратковременные испытания** проводятся в течение 1000 ч. Модули подвергаются циклическому воздействию внешних факторов (механические удары, синусоидальная вибрация, повышенная и пониженная температура, циклическое изменение температуры, повышенная влажность).
- **Длительные испытания** являются продолжением кратковременных и проводятся в течение нескольких тысяч часов с периодическим контролем параметров. Испытания проводятся в непрерывном режиме при максимальной нагрузке и повышенной температуре корпуса.

Описанные меры обеспечения надежности подтверждают, что заявленные значения безотказности модулей серии МДМ обеспечиваются на практике.



www.aedon.ru mail@aedon.ru

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

**По всем вопросам и с предложениями
Вы можете обращаться по телефону:**

+7 (473) 300-300-5; 8 800 333-81-43