

Преобразователь постоянного тока

для применения на железнодорожном транспорте

Электронные устройства широко применяются на железнодорожном транспорте. Для их использования требуется сертификация по стандарту безопасности EN50155, который является важнейшей международной рекомендацией, хотя в определенных странах применяются отличные от него местные нормативные требования. Содержание этого стандарта определяет диапазоны входных напряжений электронных изделий, задает вибростойкость и способность выдерживать скачки и провалы входного напряжения, определяет надежность изделий, их рабочую температуру, влажность и т. д. Все эти аспекты необходимо учитывать на этапе проектирования и разработки электронного изделия. В качестве примера в статье рассматривается преобразователь постоянного тока.

Алексей Павленко

info@komponenta.ru

Температура окружающей среды

Железнодорожный (ж/д) транспорт является частью транспортной инфраструктуры по всему миру. Поэтому абсолютно необходимо, чтобы оборудование могло работать в любых климатических условиях, в широком диапазоне температур и входного напряжения. Преобразователь постоянного тока (DC/DC) для применения на ж/д транспорте может быть установлен в городском метрополитене, в скоростном поезде дальнего следования, в закрытой изолированной среде или во влажном и холодном месте. Сложно предсказать, в каких условиях окружающей среды окажется ж/д состав, и даже если соответствующие уровни окружающей температуры заданы в стандарте (табл. 1), рекомендуется все же рассчитывать параметры для наивысшего уровня T_{max}. Тестирование преобразователя на нагрев представляет одно из самых сложных испытаний устройства. Хотя для уровня T_{max} предполагается время испытаний 15 мин при +85 °С, как правило, производители оборудования осуществляют тестирование в течение 1 ч при +85 °С или даже в еще более жестких условиях, чтобы с уверенностью утверждать, что

устройство сможет не только пройти нормативные испытания, но и надежно и стабильно обеспечивать питание при эксплуатации в реальных поездах. Когда поезда проходят через туннель, условия окружающей среды могут резко изменяться, но преобразователь должен продолжать работать стабильно, если скорость изменения составляет не более 3 °С/с, а суммарная разница температур — до +40 °С.



Рис. 1. Преобразователи постоянного тока

Таблица 1. Температура окружающей среды

Класс	Температура окружающего воздуха вне вагона, °С	Температура внутри отсека, °С	Температура внутри отсека при перегреве (до 10 мин), °С	Температура воздуха, контактирующего с блоком печатной платы, °С
T1	-25...+40	-25...+55	+15	-25...+70
T2	-40...+35	-40...+55	+15	-40...+70
T3	-25...+45	-25...+70	+15	-25...+85
T _{max}	-40...+50	-40...+70	+15	-40...+85

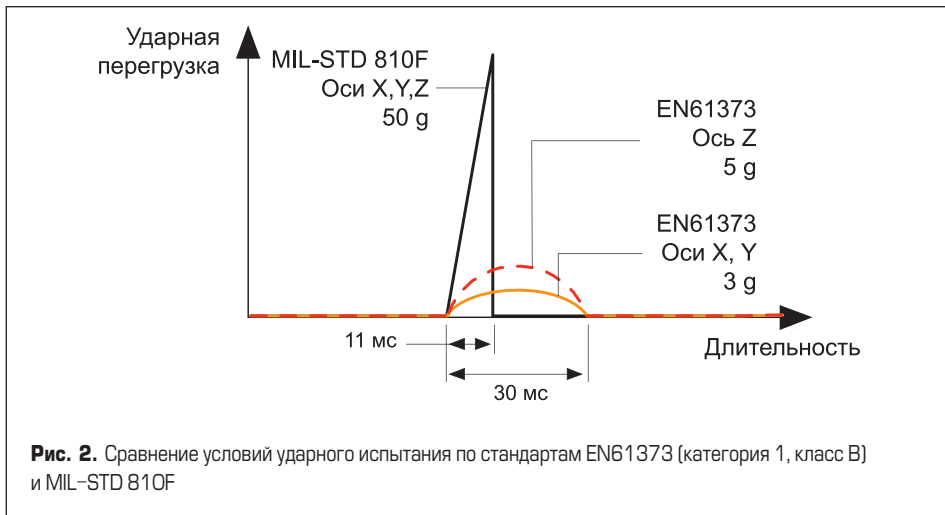
Влажность

В средах, где контактируют или чередуются высокая и низкая температуры, влага из воздуха может легко конденсироваться в любых местах. Если капли конденсата оказываются на электрическом оборудовании, и в особенности на печатных платах, может произойти короткое замыкание, которое приведет к повреждению оборудования и его отказу. Поэтому, если есть риск конденсации влаги, необходимо применять конформные покрытия для защиты электрических цепей на всех печатных платах. При выборе DC/DC-преобразователя рекомендуется выбирать типы с герметизированным исполнением. Помимо предотвращения конденсации атмосферной влаги на электронных схемах, это исполнение также защищает от загрязнений из окружающей среды.

Вибрация и ударная нагрузка

Возникающие при движении состава раскачка и вибрация негативно влияют на электрооборудование. Некоторые производители блоков питания производят испытания на виброустойчивость согласно стандарту MIL-STD 810F. Условия вибрации и ударной нагрузки, определяемые этим стандартом, сравнимы с показателями в стандарте EN61373, предписываемом для ж/д оборудования, хотя частота вибрации при испытаниях и характеристики ударной волны отличаются. В то же время интенсивность воздействия при испытаниях по стандарту MIL-STD 810F выше, чем при испытаниях по стандарту EN61373 (рис. 2).

Стандарт EN61373 определяет различные уровни вибрации и силы удара для разных мест установки электрооборудования (рис. 3). В частности, компоненты большого размера, такие как DC/DC-преобразователи, алюминиевые электролитические конденсаторы, дроссели и т. д., должны крепиться к печатной плате с использованием фиксирующего клея или винтов. Фиксирующий клей, применяемый с этой целью, должен отличаться хорошей терлостойкостью и прочностью, чтобы сохранить стабильность применяемых компонентов в условиях длительной вибрации и нагрева до высоких температур. В связи с использованием бессвинцовой пайки паяные соединения оказываются сравнительно хрупкими, и поверхность спаев может легко растрескиваться. Обычно обрезание выводов производится после монтажа компонентов на печатную плату. Во время этой операции припой может легко растрескаться из-за механической нагрузки при обрезании, возможно даже отслоение покрывающего вывод слоя. Если процесс обрезки выводов необходим, следует изменить последовательность его выполнения: сначала обрезать выводы, а затем паять их, или, в случае обрезки после пайки, восстановить затем интерфейс припоем. Это позволит гарантировать надежность

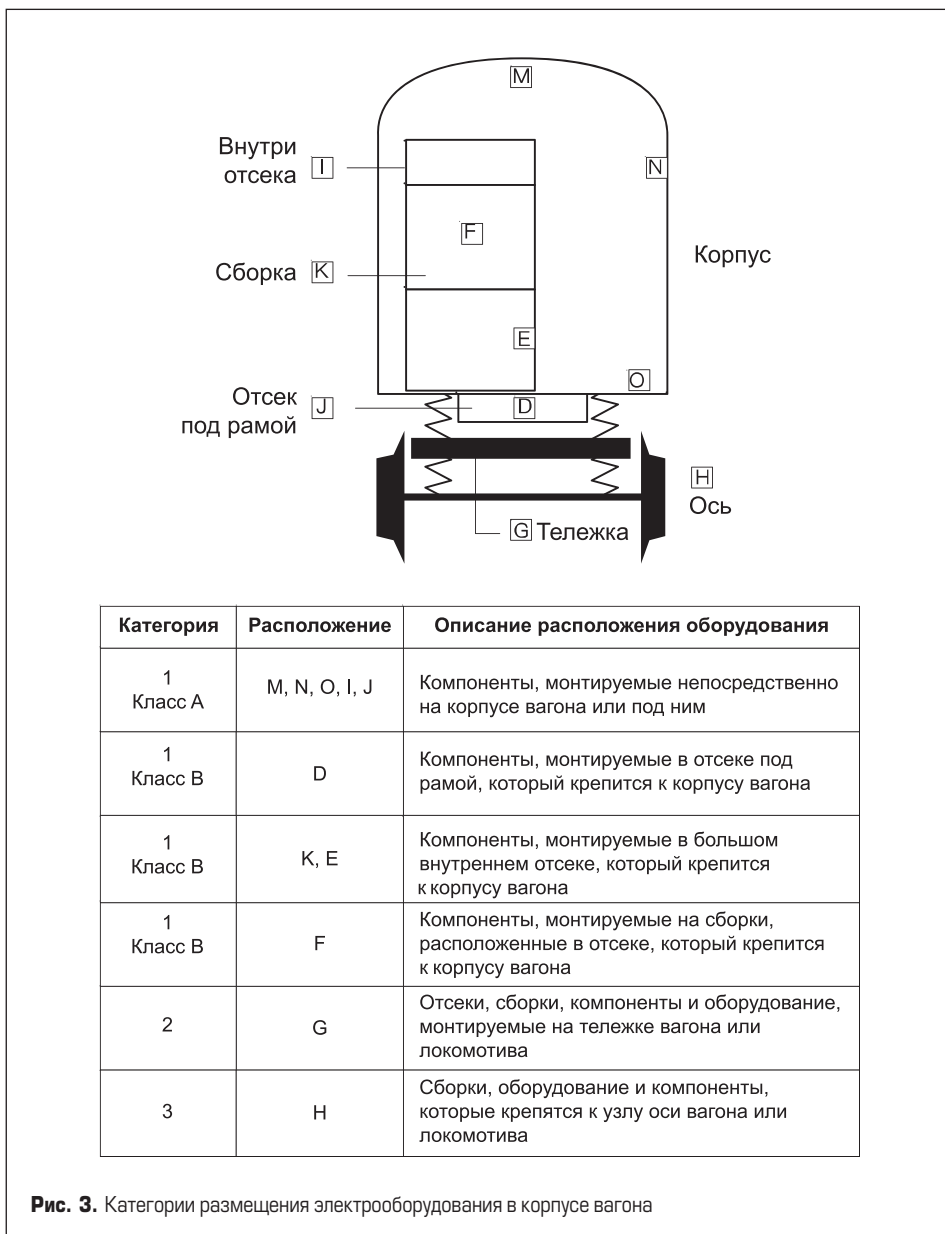


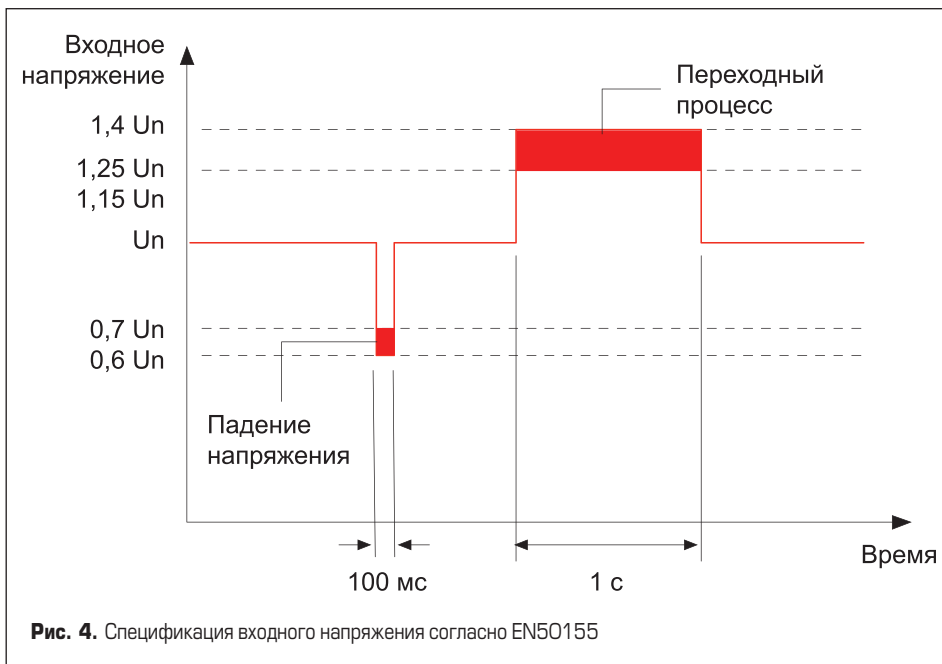
паяного соединения. При монтаже DC/DC-преобразователя модульного типа следует убедиться, что модуль плотно, без зазоров прилегает к печатной плате. Монтаж с зазором увеличивает воздействующий на модуль крутящий момент и повышает вероятность поломки выводов.

Блок питания

Системы батарейного питания в поездах можно разделить по рабочему напряжению на классы: 24, 36, 48, 72, 96, 110 В и т. д.

Систему батарейного питания нельзя назвать источником особенно стабильного





напряжения. Входное напряжение, подаваемое на различное оборудование, может колебаться при включении или останове определенных устройств. Нормальное рабочее входное напряжение составляет от $0,7U_n$ до $1,25U_n$, где U_n — номинальное напряжение системы батарейного питания. Следует уделить особое внимание возможным скачкам напряжения при переходных процессах ($1,4U_n$ в течение 1 с) и просадкам напряжения ($0,6U_n$ в течение 100 мс). Эти два состояния могут сохраняться в течение длительного времени, так что их не всегда можно компенсировать с помощью внешнего конденсатора или функционально подобной схемы. Кроме того, подобное решение было бы не экономичным. В общем случае DC/DC-преобразователь, совместимый со стандартом EN50155, должен соответствовать названным условиям. Другими словами, при проектировании

преобразователя необходимо включать эти пики и провалы входного напряжения в диапазон входных напряжений устройства (рис. 4). К примеру, напряжение 110 В весьма распространено в аккумуляторных системах подвижного состава. При использовании системы 110 В рабочий диапазон DC/DC-преобразователя должен составлять 66–154 В.

Нарушения и переключение питания

Помимо работы в указанном диапазоне напряжений, блок питания должен выдерживать непредвиденное нарушение питания (длительностью не более 10 мс), причем в это время не должно происходить нарушения работы электрического устройства.

- Требования стандарта EN50155:
- Класс S1: без прерываний.

- Класс S2: прерывания длительностью 10 мс.
- При переключении входного напряжения с батарейной системы на стабилизированный источник питания постоянного тока возможны переходные колебания входного напряжения; во время такого переключения не должно происходить отказа электронного устройства (рис. 5).
- Класс C1: при $0,6U_n$ в течение 100 мс.
- Класс C2: при нарушении (исчезновении) питания на 30 мс.

В классах S2 и C2 следует применять внешний конденсатор. Емкость внешнего конденсатора можно рассчитать по следующей формуле:

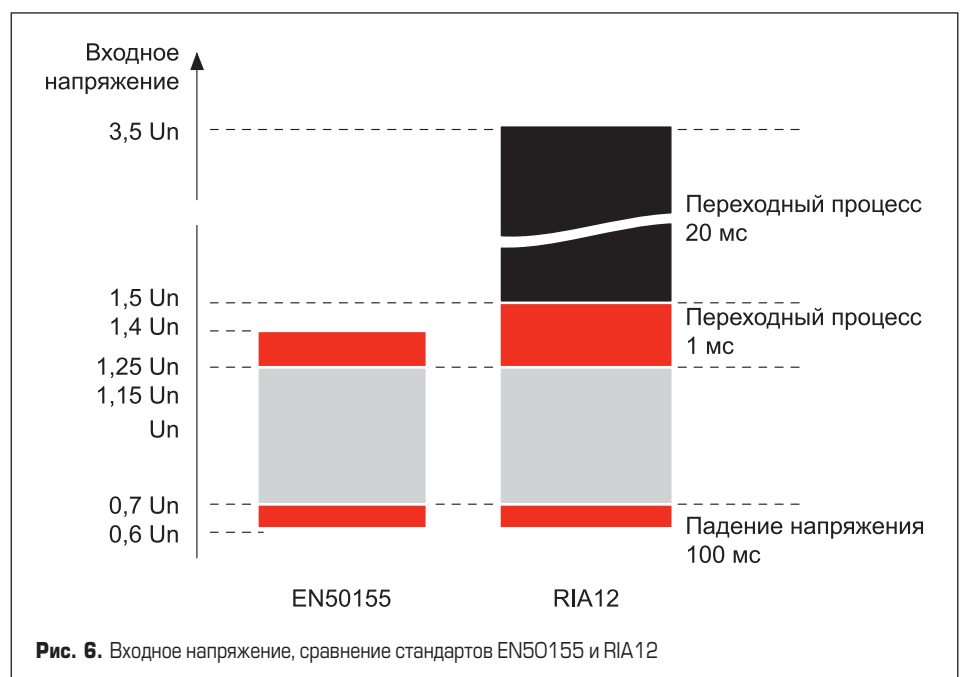
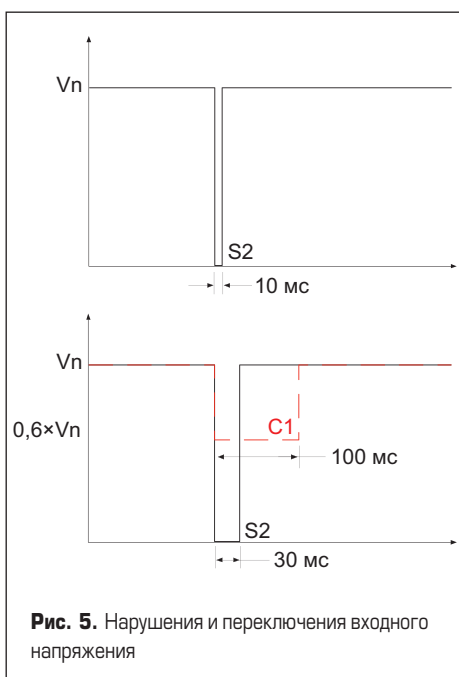
$$C_{in,ext.} = \frac{2 \times P \times \Delta t}{U_n^2 - U_{module,min}^2},$$

где: P_{in} — входная мощность преобразователя постоянного тока; Δt — продолжительность прерывания питания; U_n — номинальное входное напряжение; $U_{module,min}$ — напряжение отключения DC/DC-преобразователя.

Рекомендуется использовать емкость, в 1,5 раза большую рассчитанной, и выбрать исполнение конденсатора для высоких температур и с долгим сроком службы.

Стандарт RIA12

Помимо стандарта EN50155, также существует спецификация RIA12, определяющая требования к допустимым скачкам входного напряжения (рис. 6). Входное напряжение может возрастать до $3,5U_n$ с длительностью 20 мс. Результирующая мощность слишком высока, чтобы обработать ее за счет схемотехники преобразователя, поэтому необходима внешняя активная цепь гашения импульсов (рис. 7), в которой для поглощения излишней энергии будет применяться полевой МОП-транзистор. Это позволит гарантировать, что преобразователь, подключенный после нее,



не будет поврежден и продолжит исправно подавать питание. МОП-транзистор в цепи гашения импульсов будет работать в режиме сопротивления и поглощать энергию при активации функции гашения импульсов, поэтому при выборе полевого МОП-транзистора важно убедиться, что он будет работать в допустимом режиме. Рекомендуется использовать корпус TO-247.

ЭМС

Что касается электромагнитной совместимости (ЭМС), имеется стандарт EN50121-3-2, требования которого приведены в таблице 2. Скачки напряжения — одна из основных причин отказов DC/DC-преобразователей во время работы. Во время движения состава есть опасность скачка напряжения вследствие попадания молнии. Производители оборудования также осведомлены об этой проблеме, поэтому они проводят испытания при показателях, в 1,2 раза больших, чем предусмотрено спецификациями.

Компоненты для защиты от скачков напряжения следует размещать как можно ближе к защищаемому DC/DC-преобразователю или к входным контактам других устройств на печатной плате. Что касается компоновки проводников на печатной плате, следует расположить их таким образом, чтобы электрический ток сначала проходил через защитные компоненты, а потом поступал в устройство; кроме того, длина этих проводников должна быть как можно меньшей.

EMI

Требования к EMI в стандарте EN55011 не такие строгие, как в стандарте EN55032 (класс А). В то же время, из-за изменения характеристик схемы вокруг преобразователя, они часто нарушаются, если в DC/DC-преобразователе предусмотрен только фильтр согласно классу А (стандарта EN). Например, к этому может приводить изменение компоновки печатной платы, разъемов, длины проводов и т. д. При заводском проектировании схемы с DC/DC-преобразователем рекомендуется предусмотреть решение для обеспечения EMI заранее или же непосредственно вклю-

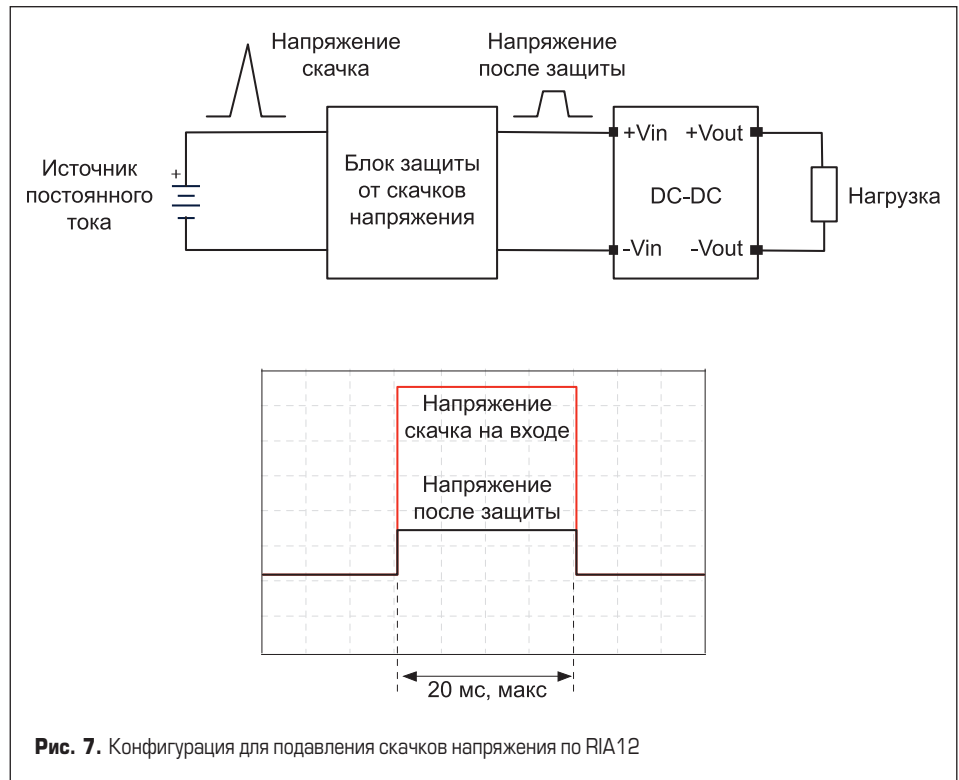


Рис. 7. Конфигурация для подавления скачков напряжения по RIA12

чить в нее фильтр, соответствующий EN55032 (класс В) (рис. 8а, б).

Изоляция

Характеристики изоляции DC/DC-преобразователя — это один из базовых показателей, к которому, в случае применения в ж/д отрасли также предъявляются конкретные требования. Для измерения сопротивления изоляции воспользуйтесь мегаомметром, установите его на 500 В. Повторите проверку

несколько раз, в частности выполните ее как до испытания изоляции на пробой, так и после, чтобы определить, не снизилось ли сопротивление изоляции. Требования испытаний напряжения изоляции для первичной и вторичной цепей изменяются пропорционально изменениям диапазона входных напряжений. Если это разрешено, рекомендуется использовать для испытаний переменный ток частотой 50–60 Гц, но если использование переменного тока невозможно, также можно использовать постоянный ток напряжением, равным пико-

Таблица 2. Требования к ЭМС согласно EN50155

Параметр	Базовый стандарт	Условия	Эксплуатационные показатели
Электростатический разряд	EN61000-4-2	Воздух: ±8 кВ Контакт: ±6 кВ	В
Устойчивость к радиочастотному воздействию	EN61000-4-3	20 В/м	А
Кратковременный переходный режим	EN61000-4-4	±2 кВ	А
Скачок	EN61000-4-5	Провод-земля: ±2 кВ Провод-провод: ±1 кВ	В
Устойчивость к кондуктивным помехам	EN61000-4-6	10 В/м	А

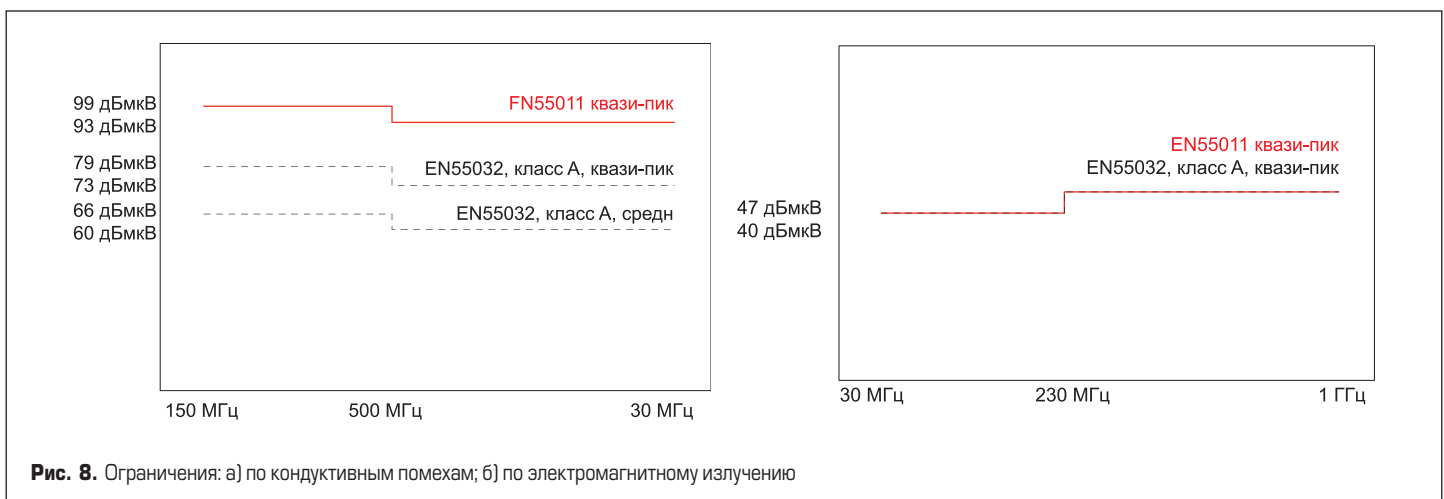


Рис. 8. Ограничения: а) по кондуктивным помехам; б) по электромагнитному излучению

вому напряжению переменного тока (рис. 9). Во время испытаний не должно происходить пробоев изоляции или дуговых разрядов.

Заключение

Ж/д транспорт — распространенный и очень важный тип транспорта. Применяемые в нем системы должны быть высоконадежными, поскольку их отказ может привести к тяжелейшим последствиям. DC/DC-преобразователь, как компонент, обеспечивающий питание других устройств, имеет очень важное значение. Он должен не только соответствовать стандарту EN50155. Следует проводить дополнительные, углубленные расчеты при проектировании, а также проверку надежности. Ниже приведен ряд моментов, которые следует учитывать при выборе преобразователя постоянного тока:

- Выбирайте преобразователь с сертификатом соответствия EN50155.
- Выбирайте соответствующие входные напряжения: их диапазон должен быть не менее чем от $0,6U_n$ до $1,4U_n$.
- Если известна фактическая выходная мощность, добавьте к ней 30–70% резерва, после чего выбирайте соответствующую модель.

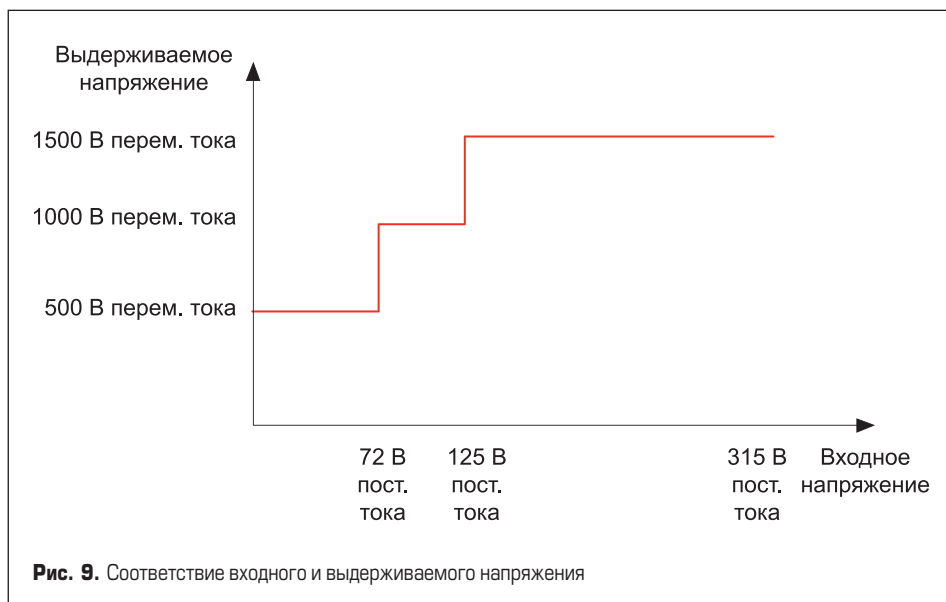


Рис. 9. Соответствие входного и выдерживаемого напряжения

- Учитывайте температуру окружающей среды, КПД модуля, термоизоляцию, максимальную рабочую температуру при определении, будет ли модуль находиться в области рабочих температур.
- Выделите на печатной плате место для компонентов обеспечения ЭМС.
- Если требуется соответствие стандарту RIA12, цепь гашения импульсов следует размещать на стороне входа.