Владимир Рентюк, rvk.modul@gmail.com
Владислав Филатов, power@ptelectronics.ru

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ С ВЫСОКИМ ПРОБИВНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПО ИЗОЛЯЦИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕВЫШЕ ВСЕГО

TRACO POWER

В статье с учетом действующих стандартов рассматриваются проблемы использования DC/DC-преобразователей с гальванической развязкой, предназначенных для таких критически важных с точки зрения безопасности приложений, как индустриальное оборудование общего применения, IT-оборудование, шахтное и взрывозащищенное оборудование и медицинская техника.

Тема безопасности достаточно обширна, чтобы раскрыть ее в рамках одной статьи, ведь она затрагивает не только элементы изделия, но и его общие схемотехнические и конструктивные решения. Поэтому ограничимся рассмотрением столь важного вопроса, как обеспечение требований по безопасности в цепях вторичного питания, а именно их основных компонентов — широко используемых DC/DC-преобразователей. Как правило, основному источнику питания в виде AC/DC-преобразователя традиционно уделяется много внимания, а вот внутренние DC/DC-преобразователи, особенно малой мощности, могут оказаться тем слабым звеном, которое, как некачественный кирпичик, положенный в фундамент здания, способно разрушить всю вашу постройку. Тут сразу возникает два вопроса: как и почему? При организации питания во внутренних цепях современной РЭА часто используются решения типа PoL (англ. PoL — Point of Load), то есть источник питания приближен к своей нагрузке. Это позволяет упростить организацию питания путем его рассредоточения. Здесь обычно применяют понижающие, повышающие или инвертирующие напряжение маломощные DC/DC-преобразователи, имеющие собственную мощность на уровне всего 1 Вт. Общие критерии выбора и особенности решений на базе DC/DC-преобразователей рассмотрены, например, в публикации [1]. Однако есть такие приложения, в которых нагрузка не просто рассредоточена по плате или внутри блока, а реально удалена на расстояние не в несколько сантиметров, а в несколько десятков метров. Это делает невозможным не только адекватное питание такой нагрузки, но и должное защитное заземление.

В этих сферах применения мы часто имеем дело с удаленными интерфейсами и самыми разнообразными датчиками (сенсорами), а нередко и с тем и с другим вместе. В этом случае возникает необходимость не просто разделения цепей питания для удобства формирования некоторых нужных для функционирования напряжений, а их реального разделения, то есть гальванического. Такие вынесенные нагрузки начинают функционировать как самостоятельные единицы, не имеющие общей гальванической связи ни друг с другом, ни с основным аппаратным блоком (назовем его так). Иногда эту проблему решают с помощью изолированных интерфейсов, например, как показано в [2]. Если не выполнить такого гальванического разделения, то функционирование оборудования нарушится из-за влияния непрогнозируемых паразитных контурных токов, вызванных наличием петель в заземлении и общих шинах.

Еще одна проблема заключается в том, что изолированный интерфейс имеет встроенный преобразователь питания, но он, как правило, из-за ограниченной мощности обслуживает лишь себя [2]. Таким образом, для питания, например, удаленного датчика нужно что-то предпринимать для обеспечения требований по безопасности не ниже тех, что заложены в выбранном изолированном интерфейсе [3]. Все изложенное выше касается IT-аппаратуры, оборудования общеиндустриального применения, оборудования для нефтегазовой промышленности, а также медицины.

Итак, мы очертили проблему и те ее элементы, которые должны быть прочными «бутовыми камнями» фундамента для ее решения. Чтобы двигаться далее в построении нашего «здания», следует определить границы его прочности, то есть необходимые уровни обеспечения безопасности, которая должны быть выполнена в нужных рамках и не превратиться в самоцель с лишними и неоправданными затратами. А для этого надо заглянуть в стандарты. Для индустриального оборудования безопасность регламентируется стандартом ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007 [4], который распространяется и на такой вид оборудования, как шахтное. В разделе 6 данного стандарта в п. 6.3.2 прямо указано, что меры, исключающие случайное появление опасного напряжения прикосновения, предполагают использование оборудования класса II или эквивалентной изоляции (с двойной, усиленной или эквивалентной изоляцией в соответствии с МЭК 61140), аппаратуры с общей изоляцией в соответствии с МЭК 60439, дополнительной или усиленной изоляции в соответствии с МЭК 60364-4-4-41 (п. 413.2). Это подразумевает диэлектрическую прочность изоляции в 3000 В (эффективное) переменного тока для аппаратуры с питанием от стандартной промышленной сети напряжения переменного тока 220 (230) В.

Для IT-аппаратуры действует основной стандарт ГОСТ Р МЭК 60950-1-2009 [5], который для рассматриваемой в настоящей статье проблемы предусматривает требования по стойкости изоляции к воздействию повышенного напряжения на уровне 1500 В для основной и функциональной изоляции и 3000 В для двойной или усиленной (раздел 5 [5]), в обоих случаях (эффективное) переменного тока, что для аппаратуры с питанием от стандартной промышленной сети напряжения переменного тока 220 (230) В совпадает с требованиями для индустриального оборудования.

Что касается взрывобезопасного оборудования, тут требования в части рассматриваемых электрических цепей

определяются стандартом ГОСТ Р 51330.10-99 [13], который гласит (п. 6.4.12.3), что изоляция между искробезопасной и искроопасной цепью, искробезопасной и силовой внешней цепью с номинальным напряжением до 250 В, искроопасной цепью, гальванически связанной с искробезопасной и силовой внешней цепью с номинальным напряжением до 250 В, должна выдерживать испытательное напряжение (эффективное) переменного тока, равное (2U+1000) В, но не менее 1500 В, где U — сумма действующих значений напряжений соответствующих электрических цепей. Пункт 6.4.12.4 стандарта предписывает, что искробезопасные цепи, электрически не связанные между собой, должны выдерживать испытательное напряжение (эффективное) переменного тока, равное (2U+1000), но не менее 500 В, где U — сумма действующих значений напряжений искробезопасных цепей. Кроме того, для этой категории оборудования ограничен и собственный нагрев компонентов, в том числе проводников печатных плат и любых жил кабелей.

А вот для медицинского оборудования требования иные, и они регламентируются стандартом ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010, который, что весьма важно, соответствует нормативам третьей редакции стандарта IEC 60601-1 [7]. Обратите внимание, что имеются в виду именно требования третьей редакции стандарта, поскольку эта редакция претерпела ряд важных изменений, направленных на ужесточение требований безопасности. Их детальное рассмотрение выходит за рамки настоящей статьи (подробно см. [8, 9]), тем не менее обратим внимание на ряд важных для нас моментов. Это связано с тем, что пользоваться публикациями на тему проектирования медицинского оборудования, изданными до 2012 года, категорически не рекомендуется.

Что же является важным для нас с точки зрения поднятых вопросов в части электробезопасности для медицинского оборудования в свете последних изменений основополагающего стандарта? В новой, третьей редакции стандарта IEC 60601-1, определяющего безопасность медицинского оборудования, введены такие понятия, как безопасность оператора (персонала, то есть лиц, работающих с изделием) и безопасность пациента (подразумевается любое живое существо — человек или животное, подвергающееся медицинскому обследованию или лечению). Все эти понятия распределены по типам медицинского оборудования, учитывающим определенную степень контакта с оператором и пациентом. Соответственно введены такие понятия, как средство защиты MOP (Means of Protection), разделенное теперь на две категории — средство защиты оператора MOOP (Means of Operator Protection) и средство защиты пациента MOPP (Means of Patient Protection). Наглядная иллюстрация распределения защитных барьеров в типовом медицинском оборудовании, согласно новой редакции стандарта, приведена на рис. 1.

Согласно ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010 и стандарту IEC 60601-1, основная изоляция рассматривается как одно средство защиты, а двойная изоляция как два средства защиты: и как средство защиты оператора (MOOP), и как средство защиты пациента (MOPP), требования по электрической стойкости изоляции разнятся (см. таблицу 6 «Испытательное напряжение для твердой изоляции, образующее средство защиты» [6]). Пример для стандартного сетевого напряжения 220 В переменного тока (диапазон пикового рабочего напряжения 212 В < U ≤ 354 В, по ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010) приведен в таблице 1.

Электрическая прочность твердой электрической изоляции МЕ ИЗДЕЛИЯ (определение согласно [6]) должна быть такова, чтобы выдерживать испытательные напряжения, указанные в таблице 1. Согласно ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010 соответствие проверяют приложением испытательного напряжения, указанного в таблице 6, в течение 1 мин сразу же после предварительного воздействия повышенной влажности. Здесь есть отличие, например, от требований стандарта по обеспечению безопасности IT-оборудования (ГОСТ Р МЭК 60950-1-2009), который предусматривает проведение испытаний без охлаждения оборудования, сразу после проведения испытания на нагрев.

Как уже отмечалось, рассматриваемые в данной статье DC/DC-преобразователи попадают в категорию «Компоненты МЕ ИЗДЕЛИЯ» (раздел 4.8 [6]). И здесь внимательный разработчик найдет очень важное и полезное для себя примечание (Примечание 1, раздел 4.8), гласящее, что если эти компоненты уже прошли проверку на соответствие стандартам, подтверждающим уровни безопасности на компоненты, то нет необходимости в выполнении идентичных или эквивалентных испытаний. В противном случае необходимо пройти весь цикл дорогих и длительных испытаний. Это заявление справедливо и для других упомянутых выше категорий оборудования. Таким образом, для разработчика есть прямая выгода использовать в рассматриваемых приложениях законченные решения

Рис. 1. Распределение изоляционных барьеров в типовом медицинском оборудовании

Таблица 1.

Требования по испытательному напряжению переменного тока ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010 для пикового рабочего напряжения 212 В < U ≤ 354 В, среднеквадратическое

Условие	Испытательное напряжение от сетевой части	Испытательное напряжение от вторичных цепей	Зазор	Изоляция
1MOOP	1500 В		2,5 мм	Основная
2MOOP	3000 В		5 мм	Двойная
1MOPP	1500 В	1500	4 мм	Основная
2MOPP	4000 В	3000	8 мм	Двойная

DC/DC-преобразователей, уже сертифицированные по безопасности. Здесь имеется в виду не только электробезопасность, но и пожаробезопасность, в том числе испытания на собственный нагрев для изделий, на которые распространяется действие ГОСТ Р 51330.10-99 [13].

Однако когда возникает вопрос, а с каким пробивным напряжением необходимо выбрать DC/DC-преобразователь для критических с точки зрения безопасности приложений, то оказывается, что не все так просто. Поясним вкратце. Допустим, вы разрабатываете медицинское оборудование и вам необходимо обеспечить требования на уровне 2MOPP. То есть система изоляции в нашем устройстве должна выдерживать испытательное переменное напряжение, приложенное между входной и выходной цепью и равное 4 кВ (среднеквадратическое). Как известно, это напряжение распределяется по барьерам изоляции согласно второму правилу Кирхгофа. Если собственная емкость одного из изоляционных барьеров в три раза превысит емкость второго барьера, то происходит перераспределение падений напряжения. В таком случае к барьеру с меньшей собственной емкостью будет приложено напряжение не в 2 кВ, как ожидалось, а в 3 кВ. Этот момент часто упускают из виду при проектировании, что приводит к серьезным проблемам уже на стадии испытаний. Таким образом, для страховки рекомендуется использовать даже для изделий типа BF (изделие типа B — Body с изолированной рабочей частью типа F — Floating, которая находится в намеренном физическом контакте с телом пациента в диагностических или лечебных целях; изделие не должно быть соединено с сердцем пациента, а контакт с телом пациента не всегда электрический) два изоляционных барьера типа 2MOOP и 2MOPP, как это показано на примере на рис. 1 [9].

Когда определены основные требования, следует перейти к выбору вариантов практической реализации. Здесь есть три варианта решения: можно самостоятельно выполнить полное проектирование преобразователя с использованием специального ШИМ-контроллера [12] или на базе драйвера с подходящим трансформатором, как это описано в публикации [3], или подобрать законченное решение в виде готового модуля. На первый взгляд первый и второй путь проще и дешевле. Они позволяют легко и гарантированно выполнить требования по изоляции (оно реализуется в разделении обмоток трансформатора и формировании необходимых зазоров). При использовании ШИМ-контроллера при относительно высоких входных напряжениях можно применить устойчивую к коротким замыканиям топологию обратноходового преобразователя. Кроме того, его трансформатор имеет более простую конструкцию, поскольку не требует отвода в первичной обмотке. При использовании драйвера реализуют прямоходовую топологию, которая схемотехнически проще на ма-

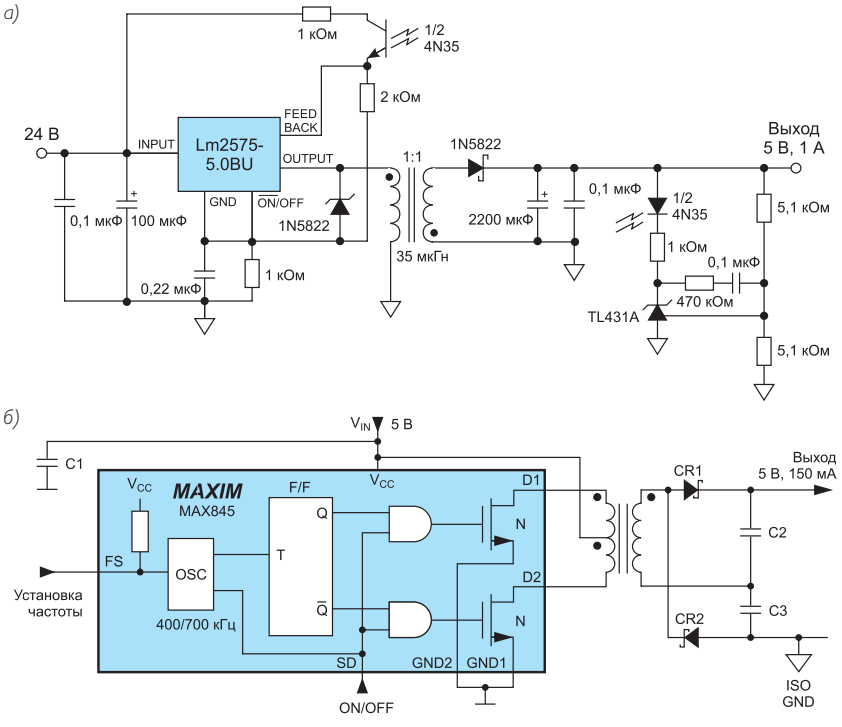

Рис. 2. Примеры типовой топологии маломощных изолированных DC/DC-преобразователей: а) решение на базе ШИМ-контроллера LM2575-5.0; б) прямоходовой преобразователь на базе драйвера MAX845 с двухтактным выходом

лых мощностях, но в общем исполнении при относительно большой мощности потребует защиты от короткого замыкания, что для рассматриваемых уровней мощности не является критичным. Однако конструкция таких трансформаторов сложнее. Драйверы, как правило, имеют двухтактный выход или выход полумостового (реже мостового) типа, часть из них оснащена встроенными ключами, а некоторые требуют внешних [3].

Еще одно достоинство обратноходовых преобразователей заключается в том, что они не так чувствительны к уровню входного напряжения и при наличии обратной связи (например, через дополнительную обмотку или опторазвязку) обеспечивают стабильное по уровню выходное напряжение. А драйверы, как правило, на рассматриваемых мощностях дают простые решения без обратной связи, стабилизирующей выходное напряжение. Оба решения требуют выходных выпрямителей, а также входных и выходных фильтров. Примеры двух вариантов таких решений приведены на рис. 2.

Как можно видеть, для описанных выше решений есть два существенных отрицательных момента. Во-первых, общие габариты, так как оба решения имеют вынесенный трансформатор и дискретную обвязку, особенно это касается обратноходового преобразователя (рис. 2а). Тут имеется довольно большое число внешних компонентов. Во-вторых, хотя есть достаточно предложений в виде стандартных трансформаторов, которые обеспечивают необходимый уровень изоляции, они в общем решении остаются все-таки относительно слабым звеном. К тому же решения не сертифицированы изготовителем, так что честь реализации данного процесса достается вам в полной мере (о чем мы уже говорили ранее). И коль вам придется этим заниматься, необходимо учесть, что согласно всем стандартам, в том числе и наиболее строгому ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010, испытания по безопасности в части устойчивости к повышенному напряжению проводятся после воздействия предельной влаги или нагрева. Как известно, эпоксидная маска, используемая для защиты печатной платы, не является защитой от влаги или загрязнения, так что любая грязь, оставшаяся на плате, или ошибка в ее разводке в части обеспечения зазоров станет той ошибкой, которая может откинуть вас иногда даже на самые ранние стадии ОКР. Учитывая, что иногда требуется несколько таких преобразователей, может получиться так, что скупой заплатит дважды. А потому имеет смысл вспомнить одно из золотых правил разработчика: создаются только те компоненты, которые нельзя купить.

Какой же выход? Использовать пусть и более дорогое, но уже законченное решение DC/DC-преобразователя в виде готового и сертифицированного по безопасности модуля. Только нужно выбрать модуль, отвечающий требованиям основного стандарта по безопасности, с учетом моментов, изложенных в настоящей статье. В качестве оптимального решения могут быть предложены новейшие DC/DC-преобразователи серии TMV-HI, изготавливаемые под торговой маркой TracoPower [10]. Эта серия выпускается известной и хорошо себя зарекомендовавшей на рынке подобных изделий швейцарской компанией TRACO Electronic AG. За свою 35-летнюю историю компания безусловно стала одним из лидеров рынка преобразователей самого различного назначения, в том числе и для приложений, критических с точки зрения безопасности.

Серия TMV-HI стала развитием предыдущей линейки аналогичных по мощности преобразователей TMV-EN [11] (рис. 3). Обе серии выполнены на основе топологии прямоходовых преобразователей с частотной модуляцией. Основное отличие новой серии заключается в увеличенном напряжении пробоя изоляции (см. табл. 2).

Новая серия также выполнена в индустриальном малогабаритном корпусе SIP-7, что значительно меньше аналогичных решений в топологии прямоходового преобразователя, реализованного на отдельном драйвере. Кроме того, вам не нужно беспокоиться о сверхминиатюрном трансформаторе и его распайке (а это не так просто, как кажется), а также о требованиях по токам утечки и устойчивости изоляции преобразователя к воздействию предельных уровней влажности — герметичный корпус SIP-7 сделан из стойких изоляционных материалов. Но главное, такой DC/DC-преобразователь уже сертифицирован по безопасности, что снимает с ваших плеч (поверьте моему почти сорокалетнему опыту разработчика самой разнообразной РЭА, в том числе взрывозащищенного шахтного оборудования и изделий медицинского направления) тяжелый груз весьма непростых проблем. Сравнение серий TMV-EN и TMV-HI приведено в таблице 2.

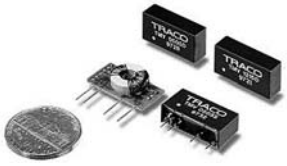

Рис. 3. DC/DC-преобразователи серии TMV компании TRACO Electronic

Как можно видеть из таблицы 2, новая серия TMV-HI отличается большей гибкостью — диапазон для выбора по входным напряжениям согласно спецификациям у нее увеличен на две позиции (добавлено исполнение на 15 и 24 В), а диапазон выбора по выходному напряжению расширен до 10 позиций. Кроме того, новая серия отличается более высокими значениями КПД (от 70 до 80% вместо 66 и 75% соответственно) и, что самое главное, большим напряжением по стойкости изоляции до 5200 В (постоянного тока) вместо 3000 В (переменного тока, эффективное значение), что делает эту серию DC/DC-преобразователей универсальной и открывает для нее новые, более широкие области для применения. Новая серия имеет и лучшие показатели надежности, что дало возможность компании TRACO Electronic предоставить на эту линейку трехлетнюю гарантию вместо двухлетней гарантии, установленной для серии TMV-EN. Еще одной характерной чертой DC/DC-преобразователей серии TMV-HI является то, что ее параметры не деградируют во всем диапазоне рабочих температур от –40 до +85 °C.

Важным достоинством рассмотренных серий преобразователей является стандартное назначение их выводов (см. табл. 3), что позволяет использовать данные устройства в ранее разработанных изделиях без внесения конструктивных изменений в конечные продукты. При этом новая серия преобразователей TMV-HI имеет на 30% меньший вес, занимает на 16% меньше места на печатной плате и имеет выигрыш по высоте, что немаловажно в условиях современных тенденций к дальнейшей миниатюризации аппаратуры.

Кроме перечисленных выше проблем обеспечения безопасности, серьезной проблемой является электромагнитная совместимость. Обе рассмотренные серии преобразователей уже имеют встроенный входной помехоподавляющий конденсатор и для своего применения формально требуют лишь

Таблица 2. DC/DC-преобразователи серий TMV-EN и TMV-HI компании TRACO Electronic

Наименование параметра	Испытательное напряжение от сетевой части	Испытательное напряжение от вторичных цепей
Мощность	1 Вт	1 Вт
Входные напряжения, *В*	±10%: 5, 12, 24*	±10%: 5, 12, 15, 24
Выходные напряжения, *В*	5, 12, 15, ±5, ±12, ±15	3,3, 5, 9, 12, 15, ±5, ±9, ±12, ±15, +15/–9
Выходной ток, *мА*	200, 80, 65, ±100, ±40, ±30	303, 200, 111, 84, 66, ±100, ±56, ±42, ±33, +33/–55
Входной ток (без нагрузки)	55 мА для 5 В 30 мА для 12 В	35 мА для 5 В 14 мА для 12 В 16 мА для 15 В 12 мА для 24 В
Пиковое входное напряжение (1 с)	9 В для 5 В 29 В для 12 В	9 В для 5 В 18 В для 12 В 20 В для 15 В 30 В для 24 В
Погрешность установки выходного напряжения	±3% (max)	±5% (max)
Разбалансировка выходных напряжений для двухвыходных моделей	1% max	1% max
Погрешность поддержания выходного напряжения в условиях изменения нагрузки 20–100%	<10%	<20% для 5 В <10% для остальных исполнений
Уровень пульсаций и шумов в диапазоне до 20 МГц	100 мВ типовое (полный размах)	100 мВ типовое (полный размах)
Защита от короткого замыкания	ограниченно, 5 с (max)	неограниченно
Электрическая прочность изоляции	4500 В (пиковое), 1 с 3000 В переменного тока, среднеквадратичное, между входом/выходом, 60 с	5700 В (пиковое), 1 с 5200 В постоянного тока, между входом/выходом, 60 с
Устойчивость по синфазному напряжению (dv/dt)	–	15 кВ/мкс (min)
Сопротивление изоляции	>10 ГОм	>10 ГОм
Проходная емкость (вход/выход), *пФ*	15 (типовая)	7 (типовая)
Диапазон рабочих температур	от –40 до +85 °C (с деградацией 2,85%/K выше 70 °C)	от –40 до +85 °C (без деградации)
Температура корпуса	+90 °C (max)	+100 °C (max)
Допустимая относительная влажность, без конденсации	95% (max)	95% (max)
Допустимая высота над уровнем моря, *м*	4000	4000
Рабочая частота, *кГц*	80	100
Корпус**	SIP-7	SIP-7
Материал корпуса	Токонепроводящая пластмасса (UL 94V-0)	FR4 (UL 94V-0)
Масса, *г*	4,0	2,8
Габаритные размеры, *мм*	12,5×7,5×22	10,2×7,1×19,5
Соответствие требованиям по охране окружающей среды	RoHS (директива 2011/65/EU)	RoHS (директива 2011/65/EU)
Соответствие стандартам по безопасности	IEC 60950-1:2005 +A1:2009 EN 60950-1:2006 +A1:2010 +A11:2009 +A12:2011 UL 60950-1, CSA C22.2 No. 60950-1-03	CAN/CSA-C22.2 No 60950-1-07, 2nd ed; A1:2011 ANSI/UL No. 60950-1, 2nd ed.; A1:2011 IEC 60950-1:2005 (2nd edition); Am 1:2009 EN 60950-1:2006/ A11:2009/A1:2010/ A12:2011

Примечания.
* Данные приведены с сайта компании, в текущей спецификации [11] указаны два входных напряжения 5 и 12 В.
** Назначение выводов согласно таблице 3.

Таблица 3. Назначение выводов преобразователей серий TMV-EN и TMV-HI

№ вывода	Исполнение	
	одиночный	сдвоенный
1	$+V_{in}$ (V_{cc})	$+V_{in}$ (V_{cc})
2	$-V_{in}$ (GND)	$-V_{in}$ (GND)
5	$-V_{out}$	$-V_{out}$
6	–	Общий
7	$+V_{out}$	$+V_{out}$

выходных электролитических конденсаторов и входного предохранителя. Параметры этих элементов зависят от рабочих напряжений преобразователей, а их оптимальные значение приведены в спецификациях [10, 11]. При необходимости для уменьшения уровня излучаемых помех, что может потребоваться для решения вопросов в части электромагнитной совместимости, могут быть приняты дополнительные меры — например, установлен по входу рекомендуемый в спецификации [11] внешний пленочный полиэстеровый конденсатор емкостью 1–3,3 мкФ для уменьшения пульсаций входного тока или π-фильтр, как это указано в руководстве по применению серии TMV-EN [14] (рис. 4). Более полное и детальное рассмотрение решения проблемы входных/выходных пульсаций и помех DC/DC-преобразователей выходит за рамки настоящей статьи, для получения дополнительной информации можно обратиться, например, к публикации [15].

Как видно из изложенного, DC/DC-преобразователи могут успешно выступить в роли тех надежных кирпичиков для фундамента, которые способны обеспечить безопасность новых разрабатываемых изделий. Так, описанная серия TMV-EN [11] компании TRACO Electronic со стойкостью изоляции к воздействию повышенного напряжения на уровне 3000 В (эффективное, постоянного тока) с учетом указанного в их сертификации соответствия требованиям стандарта ГОСТ Р МЭК 60950-1-2009 (IEC/EN 60950) могут быть успешно использованы не только для многих видов IT-оборудования, но и для индустриального оборудования

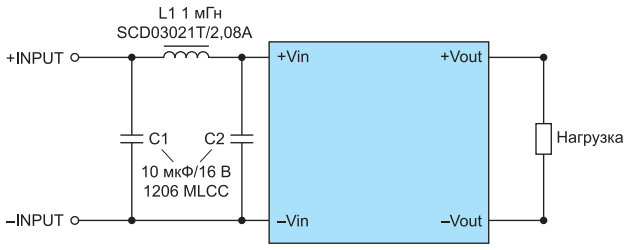

Рис. 4. Рекомендуемый входной π-фильтр для уменьшения уровня помех на примере однополярного DC/DC-преобразователя серии TMV-EN

общего назначения (в том числе шахтного) по ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007, а также взрывозащищенного по ГОСТ Р 51330.10-99, с учетом электрических и тепловых характеристик этой серии. Причем по эффективности в части стойкости к пробивному напряжению изоляции данные DC/DC-преобразователи превосходят требования указанных стандартов, что для использования такого преобразователя во взрывозащищенном оборудовании для нефтегазовой и химической промышленности резко уменьшает вероятность искрообразования, делая его более безопасным и надежным. Кроме того, с некоторыми конструктивными решениями в общем исполнении конечного изделия они могут применяться и в медицинском оборудовании по ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010 (IEC 60950-1) в качестве одного средства защиты уровня 1MOOP или 1MOPP для вторичных цепей. Это их назначение подчеркивает и тот факт, что на сайте компании TRACO Electronic www.tracopower.com серия DC/DC-преобразователей TMV-EN прямо отнесена к категории Medical/Healthcare («Медицина/Здоровье»), хотя формально они принадлежат к классу IT-оборудования.

Что же касается новой серии TMV-HI [12] компании TRACO Electronic со стойкостью изоляции к воздействию повышенного напряжения на уровне 5200 В (постоянного тока) с учетом сертификации на соответствие требованиям стандарта ГОСТ Р МЭК 60950-1-2009 (IEC/EN 60950), то она более универсальна и может использоваться для всех классов и видов описанного в данной статье оборудования, особенно в части такого требовательного к безопасности оборудования, как медицинская аппаратура. Еще одна важная особенность данной серии — ее устойчивость к скорости нарастания синфазного напряжения 15 кВ/мкс (min), что наряду с высокой устойчивостью изоляции по напряжению делает ее применимой в гальванически развязанных приводах индустриального оборудования, выполненных на основе IGBT-модулей.

Если же говорить о медицинской технике, то возникает законный вопрос: почему мы вообще здесь ведем речь о допустимости использования DC/DC-преобразователей данной серии в медицинском оборудовании? Ответ прост. Во-первых, это выгодно, поскольку данные преобразователи доступнее и дешевле специализированных. Во-вторых, согласно разъяснениям, представленным в публикации [9], практическим примером в реализации медицинской техники может служить решение (именно оно показано на рис. 1), в котором первое средство защиты обеспечивается с помощью AC/DC-преобразователя IT-класса, соответствующего требованиям стандарта IEC 60950 по усиленной изоляции, с последующим DC/DC-преобразователем, отвечающим базовым требованиям, или 1MOPP-требованиям, по стандарту IEC 60601-1. В сочетании это решение будет эквивалентно системе изоляции типа 2MOPP. Причина в том, что DC/DC-преобразователь, который отвечает требованиям IEC 60950-1 по усиленной изоляции, будет соответствовать и регламентам 2MOOP или 1MOPP по стандарту IEC 60601-1. Так что требования по защите оператора выполняются. Почему мы не говорим о соответствии преобразователей новой серии требованиям 2MOPP, ведь устойчивость изоляции на уровне 5200 В на первый взгляд дает нам такую возможность? Проблема в том, что корпус SIP-7 рассматриваемых DC/DC-преобразователей не обеспечивает необходимый зазор (имеется в виду расстояние между выводами 2–5). С учетом всех допустимых отклонений и размеров контактной площадки он равен максимум 7 мм при требовании минимум 8 мм (см. табл. 1). Это наглядный пример того, что проблему обеспечения безопасности необходимо всегда решать комплексно. Справедливости ради заметим: для того чтобы достичь полного соответствия требованиям по защите пациента, необходимо дополнительно рассмотреть и другие факторы, такие как организация системы предохранителей и общее суммарное значение токов утечки.

Литература

1. Рентюк В. Новые возможности современных DC/DC-преобразователей: особенности принятия решения по выбору и типовые применения // Электрик. 2015. № 7–8, 9.
2. Рентюк В. Практические вопросы применения ИМС изолированного интерфейса в части выполнения требования по электромагнитной совместимости // Компоненты и технологии. 2015. № 3.
3. Рентюк В. Полные решения изолированных интерфейсов средств управления и автоматизации на примере предложений компании Maxim // Компоненты и технологии. 2015. № 4.
4. ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования.
5. ГОСТ Р МЭК 60950-1-2009. Оборудование информационных технологий. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования.
6. ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010. Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик.
7. IEC 60601-1 Ed. 3.0 b:2005 Medical electrical equipment — Part 1: General requirements for basic safety and essential performance.
8. Блис П. Стандарт IEC 60601: переход от второй к третьей редакции // Стандартизация и сертификация. 2012. № 4.
9. Бейлис А.-М. Безопасное использование DC/DC-преобразователей: требования третьей редакции стандарта IEC 60601-1 // Компоненты и технологии. 2015. № 11.
10. TracoPower. DC/DC Converters TMV-HI Series, 1 Watt. Rev. April 13. 2015.
11. TracoPower. DC/DC Converters TMV-EN Series, 1 Watt. Rev. August 22. 2014.
12. Зайцев И. Чем будем питаться? Питание от Micrel // Компоненты и технологии. 2004. № 9.
13. ГОСТ Р 51330.10-99 (МЭК 60079-11-99). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь i.
14. TracoPower. Application Note TMV-EN Series. Rev. 06/12.
15. Робертс С. Решения проблемы пульсаций и помех DC/DC-преобразователей: входная и выходная фильтрация //Компоненты и технологии. 2015. № 11.