

# Некоторые особенности проектирования источников питания

## для медицинского электрооборудования

**В статье рассматриваются основные требования электробезопасности и электромагнитной совместимости к источникам питания, предназначенным для применения в медицинском электрооборудовании, а также некоторые схемотехнические решения, применяемые при создании этих источников питания.**

**Виктор Жданкин**

Victor@prosoft.ru

При конструировании электронного оборудования одним из ключевых моментов является безопасность — это одинаково важно как для промышленного или бытового электрооборудования, так и для медицинских приборов. Логично было бы предположить, что источники питания, разработанные и прошедшие испытания по безопасности для промышленных применений, подойдут и для использования в медицинском оборудовании. Однако такой подход не совсем правилен — следует учесть тот факт, что для больших протекание даже небольших токов утечки может неблагоприятно повлиять на здоровье, хотя те же токи не окажут существенного влияния на здорового человека и допустимы в промышленных применениях.

Кроме того, немало электронного оборудования, применяющегося в больницах (например, контрольные устройства), оперирует с сигналами чрезвычайно низкого уровня. Это оборудование более восприимчиво к электромагнитным помехам, чем оборудование, применяющееся в промышленности, что также делает электромагнитную совместимость основной проблемой для медицинских применений.

Специальные требования к безопасности медицинских электрических изделий регламентированы международными стандартами. В большинстве стран, включая страны Европы и Северную Америку, действуют стандарты серии IEC 60601. В России действуют ГОСТ Р50267.0-92 «Изделия медицинские электрические. Часть I. Общие требования безопасности» и ГОСТ Р50267.0.2-95 «Изделия медицинские электрические. Часть I. Общие требования безопасности. 2. Электромагнитная совместимость. Требования и методы испытаний». В короткой статье невозможно подробно рассмотреть весь обширный ряд стандартов, поэтому данный материал мы посвящаем обсуждению того, как требования безопасности, установленные этими стандартами, влияют на конструкцию и технические параметры источников электропитания. Ранее требования электробезопасности и электромагнитной совместимости, предъявляемые к медицинским электрическим изделиям, уже рассматривались в публикациях [1, 2].

Одним из основных требований, обеспечивающих безопасность, является эффективная и надежная изо-

ляция между первичной и вторичной цепями источника питания, поскольку любой дефект изоляции может привести к поражению электрическим током.

Эффективная электрическая изоляция обеспечивается несколькими способами, включая изолирующие расстояния между проводящими частями. Стандарты IEC 60601 устанавливают минимальные расстояния для изоляции в первичных цепях и между первичными и вторичными цепями и, что важно отметить, они превосходят расстояния, установленные соответствующими стандартами для источников питания промышленного и универсального применения.

Данное условие не исключает применение этих источников питания в медицинском электрооборудовании, в частности, некоторые ведущие производители, включая Lambda, во многих конструкциях используют минимальные расстояния по изоляции, установленные стандартом IEC 60601-1 (ГОСТ Р 50257.0-92).

Однако важным моментом является проверка этого пункта при определении требований к источникам питания.

Помимо достаточного изолирующего расстояния между токопроводящими частями, эффективность изоляции также зависит от надежности применяемой системы изоляции. В большей части современных источников питания применяют двойную или усиленную изоляцию, эффективность которой проверяется испытанием на электрическую прочность: изоляцию подвергают воздействию напряжения, значительно превосходящего значение рабочего напряжения, что гарантирует невозможность повреждения как изоляции в целом, так и отдельных составных частей при работе.

Еще раз отметим, что требования к источникам питания для медицинских приборов и аппаратов отличаются от требований к источникам питания для промышленных и ИТ применений. Усиленная или двойная изоляция в источниках питания для медицинских применений, предназначенных, например, для работы от сети 240 В переменного тока, должна выдерживать испытание напряжением 4 кВ (действующее значение), тогда как соответствующее значение испытательного напряжения для изделий промышленного применения — только 3 кВ.

Говоря о расстояниях утечек, зазоров и расстояниях по изоляции, необходимо учитывать также различия при выборе источника питания. Источники питания, электрическая прочность изоляции которых испытывается напряжением меньше 4 кВ (для рабочего напряжения  $150 < U \leq 250$  В), могут быть использованы в медицинских аппаратах в качестве части единой системы с усиленной изоляцией, при условии применения в законченном оборудовании дополнительной изоляции для обеспечения степени защиты от поражения электрическим током отвечающей требованиям усиленной изоляции.

Требования к току утечки, установленные IEC 60601 (ГОСТ Р 50267.0-92), тоже жесткие. В частности, максимально допустимый ток утечки на «землю» 300 мкА устанавливается для нормального режима работы распространенными во всем мире стандартами, но это значение определяется для оборудования в целом, а не только для источника питания. Следовательно, учитывая дополнительный ток утечки в других компонентах системы, весьма желательно иметь для источника питания меньшее значение тока утечки на «землю».

Таким образом, получаем очень интересную картину. Как было отмечено, параметры электромагнитной совместимости являются одной из важнейших характеристик для медицинских источников питания. Все современные источники питания построены на основе высокочастотных регулируемых преобразователей, так как это обеспечивает их высокую экономическую и техническую эффективность. Однако высокочастотные преобразователи генерируют электромагнитные помехи и требуют встраивания фильтров для уменьшения уровня помех.

Конденсаторы этих фильтров создают условия для протекания небольших токов утечки, и чем эффективнее фильтр для подавления помех, тем вероятнее протекание большего тока утечки.

На рис. 1 представлены основные компоненты источника питания, оказывающие влияние на повышение тока утечки на «землю». Y-конденсаторы YC1, YC2, YC3, применяемые на первичной стороне источника питания, служат в качестве фильтров высокочастотных помех и допускают утечку на «землю» (GND) токов сетевой частоты. Помимо Y-конденсаторов существуют паразитные емкости PCn, которые образуют непредусмотренные связи между первичными цепями и «землей». На рис. 1 PC1 показывает емкостную связь между схемой корректора коэффициента мощности (ККМ) и «землей». Как правило, эта связь доминирует над емкостью между коммутируемыми компонентами и шасси (радиаторами) источника питания. Аналогично, паразитная емкость PC2, как правило, формируется конструкцией радиаторов ключей в выходном преобразователе.

Паразитные емкости PC3 и PC4 являются межвитковыми емкостями магнитных компонентов (трансформаторов), применяемых для передачи энергии из первичной части на выход (вторичную часть). Через паразитные емкости PC3 и PC4 также протекают токи сетевой частоты на «землю» через выходной

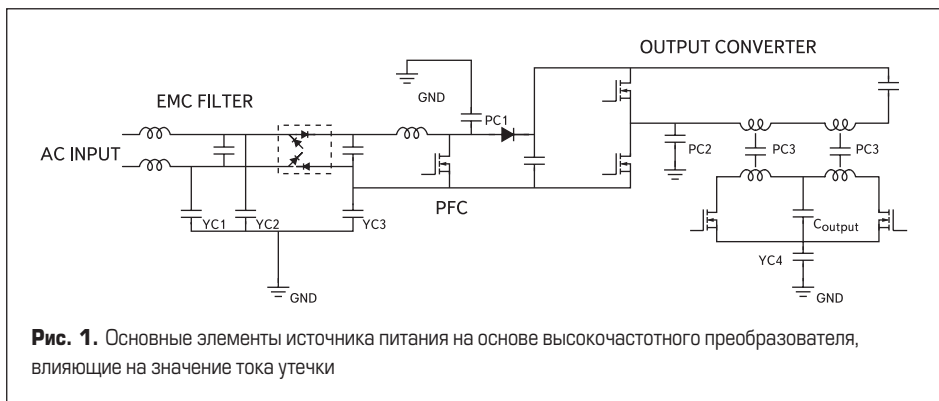


Рис. 1. Основные элементы источника питания на основе высокочастотного преобразователя, влияющие на значение тока утечки

Y-конденсатор YC4 и цепи нагрузки, подключенные к выходу источника питания.

В связи с этим можно предположить, что существует компромисс между показателями ЭМС и током утечки.

Для стандартно разработанных высокочастотных источников питания возможно применение фильтрующих конденсаторов большой емкости, но показатели ЭМС могут быть улучшены и другими методами: лучшим способом является минимизация уровня помех, создаваемых источником питания, в местах их возникновения.

Чтобы выяснить, каким образом может быть обеспечено уменьшение уровня помех, необходимо понимать принцип работы источника питания на основе регулируемого транзисторного преобразователя напряжения. По существу, он первым преобразует энергию сети переменного напряжения в постоянное напряжение. Это постоянное напряжение преобразуется обратно в переменное напряжение высокой частоты, так что оно может быть приложено к компактному трансформатору для формирования требуемых выходных напряжений. Преобразование постоянного напряжения в переменное выполняется высокочастотным транзисторным преобразователем. Поэтому данные изделия и называют источниками питания с высокочастотным преобразованием с бестрансформаторным входом.

Выходное напряжение трансформатора преобразуется обратно в постоянное напряжение и подается на стабилизаторы, которые обеспечивают стабильное выходное напряжение в условиях изменения тока нагрузки. В источниках питания применяются также ограничители тока для защиты от перегрузки по току. Однако для ЭМС наибольшую опасность представляет высокочастотный инвертор.

Применяемые транзисторные ключи переключаются с большой частотой, так как это обеспечивает минимизацию потерь в источнике питания. К сожалению, чем быстрее транзисторы переключаются, тем больше генерируется помех.

Поэтому в некоторых новых конструкциях источников питания, таких как, например, серия NV фирмы Lambda (рис. 2), преднамеренно уменьшают скорости изменения напряжений и токов в силовых ключах, используя специальные структуры преобразователей с переключением транзисторов при нуле напряжения (zero-voltage switching, ZVS) [3, 4]. Они обеспечивают относительно быстрое пе-

реключение транзисторов, наряду с этим уменьшая скорости изменения напряжений на силовых транзисторах. Длительности изменения напряжения в схеме ZVS могут иметь значения порядка 100 нс; в преобразователях с прямоугольной разрывной формой переключаемых токов и напряжений это время равно 20 нс. В новейших моделях серии NV300/700 применяются полумостовая структура преобразователя с использованием многорезонансного метода переключения силовых транзисторов (Multi Resonant Topology, MRT) и патентованная конструкция силового трансформатора, уменьшающие уровень помех. Таким образом, обеспечивается уровень кондуктивных помех, соответствующий нормам для оборудования класса В, при этом ток утечки не превышает 300 мкА.

Используя новейшие структуры преобразователей с переключением транзисторов



Рис. 2. Внешний вид источников питания серии NV, созданных на основе полумостовой структуры с резонансным методом переключения силовых транзисторов

при нуле напряжения, разработчики фирмы Lambda смогли достичь меньших скоростей переключения без снижения энергетических показателей источников питания. Уровень генерируемых электромагнитных помех, тем не менее, значительно уменьшился, благодаря чему для обеспечения соответствия требованиям к ЭМС требуется применение простого помехоподавляющего фильтра. При небольшом затухании фильтра обеспечивается соответствие и другому важному условию: низкому значению токов утечки.

В качестве еще одного преимущества отметим, что новая структура устраняет необходимость применения экранных обмоток между обмотками силового трансформатора — средства, традиционно применяемого для улучшения показателей ЭМС [5, 6]. Исключение экрана не только позволяет уменьшить габаритные размеры трансформатора и, следовательно, источника питания, но и дополнительно увеличивает КПД. Для достижения наивысших в промышленности энергетических показателей для многоканальных источников питания фирма Lambda внедрила в источниках питания серии NV комплексную технологию повышения эффективности (Multiple Efficiency Gain, MEG). Увеличение эффективности различных каскадов источника питания в итоге дает значительное повышение общего значения КПД источника.

Перечислим основные технические решения, способствующие значительному повышению качества источников питания серии NV:

1. Применение в выходном преобразователе мягкого переключения при нуле напряже-

ния позволяет использовать в помехоподавляющих фильтрах малогабаритные индуктивные элементы для снижения токов утечки. Небольшие индуктивные элементы фильтров имеют меньшие сопротивления и, следовательно, меньшие потери.

2. Использование карбид-кремниевых (SiC) диодов в схеме корректора коэффициента мощности значительно сокращает коммутационные потери, а использование активной высокочастотной коррекции повышает КПД.

3. Применение в структуре полумостового преобразователя многорезонансных эффектов для обеспечения режима переключения транзисторов при нуле напряжения повышает КПД при изменении нагрузки (приблизительно от 30% до 100%) и обеспечивает низкое взаимное влияние между каналами.

4. Использование синхронного выпрямления в выходном каскаде, при котором демпферный диод понижающего регулятора заменяется коммутируемым транзистором.

Результатом является существенное повышение энергетических показателей (КПД достигает 90%) и уменьшение массы и габаритных размеров источников питания серии NV.

Современное медицинское электрооборудование нуждается в надежных и рентабельных источниках питания с высокими энергетическими показателями качества. Источники питания с высокочастотными преобразователями соответствуют этим требованиям, но как было показано, не все подобные источники питания создаются одинаково.

Поэтому разработчикам электрических медицинских приборов и аппаратов необходимо обратить особое внимание на выбор источников питания, отдавая предпочтение изделиям производителя, имеющего опыт создания оборудования именно для медицинской отрасли и хорошо понимающего специфику требований этого сегмента рынка. Следует удостовериться, что выбранный источник питания полностью соответствует требованиям стандарта IEC 60601-1 (ГОСТ Р 50267.0-92) к безопасности оборудования и IEC 60601-1-2:2001 (ГОСТ Р 50267.0.2-95) к ЭМС.

## Литература

1. Жданкин В. К. Требования электробезопасности и ЭМС к изделиям медицинской техники // Электронные компоненты. 2006. № 2.
2. Казанцев Ю. И., Миняйлик Г. Н. Современные требования к испытаниям электрических медицинских приборов и аппаратов. ЗАО «НПЦентр». 2000.
3. Кабелев Б. В. Регуляторы и преобразователи с коммутацией при нуле напряжения // Электроника: НТБ. 1998. № 3–4.
4. Лукин А. В. Высокочастотные преобразователи постоянного напряжения и их классификация // Электроника: НТБ. 1998. № 1.
5. Эраносян С. А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. Л.: Энергоатомиздат. 1991.
6. Ланцов В., Эраносян С. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения // Силовая электроника. 2006. № 4.