

# ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

**ИГОРЬ АЛЕКСЕЕВ**

*В статье рассмотрены топологии преобразователей, которые ранее использовались в приложениях большой мощности, а теперь применяются в преобразователях меньшей мощности, обеспечивая им высокую плотность мощности и малый форм-фактор.*

Эффективность и плотность мощности (Вт/объем) долгое время были характеристиками, используемыми для сравнения производительности изолированных DC/DC-преобразователей мощности. При проектировании изолированных DC/DC-преобразователей первым и наиболее критичным моментом является выбор схемы. Как правило, выбор схемы определяется заданным уровнем выходной мощности. На практике принят следующий порядок применения схем преобразователей по мере увеличения выходной мощности: обратноходовой, прямоходовой, двухтактный, полумостовой и мостовой.

Подход к выбору схем преобразователей в соответствии с выходной мощностью остается справедливым и поныне, однако в наши дни топологии, ранее использовавшиеся в приложениях большой мощности, применяются в сравнительно менее мощных преобразователях с меньшими значениями форм-фактора, что позволяет разработчикам достигать более высокой плотности мощности. Производители ИС управления мощностью, объединив контроллеры с высоковольтными драйверами затворов и добавив ряд новых опций, способствовали развитию этой тенденции.

Выбор схем преобразователей по диапазону выходной мощности, принятый до сих пор, явно устарел. Существует ряд других факторов,

играющих важную роль при выборе топологии изолированных DC/DC-преобразователей, таких как стоимость, габариты, нагрузка по напряжению на активный ключ, выходной шум и диапазон входных напряжений. Размер изолированного преобразователя мощности зависит, в основном, от габаритов трансформатора и количества используемых активных ключей.

Применение силового трансформатора также влияет на размеры преобразователя мощности. Схемы изолированных преобразователей мощности по типу использования кривых намагничивания (В-Н-кривых) можно разделить на симметричные и несимметричные. Если во время работы изменения магнитного потока происходят только в одном квадранте В-Н-кривой, такая схема классифицируется как несимметричный преобразователь. Если изменения магнитного потока происходят в двух квадрантах В-Н-кривой, речь идет о симметричном преобразователе. При одном и том же наборе требований к схеме второй тип преобразователей предполагает использование сердечника меньших размеров и исключает необходимость применения дополнительной обмотки размагничивания. В таблице 1 [1] представлены несколько типов наиболее популярных схем изолированных преобразователей мощности с исторически сложившимися диапазонами.

## ТРАДИЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Наиболее распространенными схемами изолированных преобразователей мощности являются схемы обратноходовых преобразователей, которые включают только один активный ключ и не требуют использования дополнительного выходного дросселя. Это обеспечивает простоту использования и низкую стоимость схемы. Подобная топология довольно часто встречается при мощностях ниже 100 Вт и даже 1 кВт. Такие преобразователи хороши, когда требуется получить довольно высокое напряжение при относительно малом токе — трансформатор играет роль дросселя и отдает энергию в нагрузку при закрытом силовом ключе.

Недостатками обратноходовой топологии являются неэффективное использование трансформатора из-за несимметричной схемы и необходимость применения дополнительных конденсаторов, как на входе, так и на выходе, из-за больших пульсаций входного и выходного токов. Иногда применяют обратноходовой преобразователь с двумя ключами (см. рис. 1). В этом случае существенно снижаются выбросы при коммутации — энергия, запасенная в поле рассеяния, поступает во входной сглаживающий конденсатор, следовательно, уменьшается максимальное напряжение на активном ключе.

Таблица 1. Сравнение схем изолированных преобразователей мощности

Топология	Исторически сложившийся диапазон мощностей, Вт	Используемый трансформатор	Количество активных ключей	Нагрузка по напряжению на активный ключ	Стоимость
Обратноходовой преобразователь	< 100	Несимметричный	1	$>V_{IN}+N \times V_{OUT}$	Самая низкая
Прямоходовой преобразователь	50...200	Несимметричный	1	$>V_{IN} \times 2$ (для $D_{Max} = 0,5$ )	>обратноходового
Прямоходовой преобразователь с активной ограничивающей цепью (ACF)	50...300	Симметричный	2	$V_{IN}/(1-D)$	обратноходового <ACF< прямоходового
Двухтактный преобразователь (P-P)	100... 500	Симметричный	2	$\geq V_{IN} \times 2$	>ACF
Полумостовой преобразователь	100... 500	Симметричный	2	$\geq V_{IN}/2$	>P-P
Мостовой преобразователь	>500	Симметричный	4	$\geq V_{IN}$	>полумостового

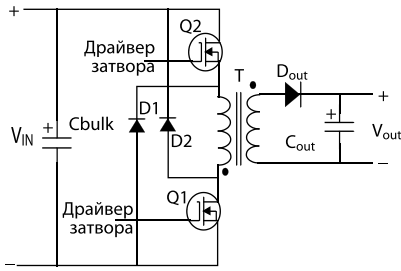


Рис. 1. Обратногодовой преобразователь с двумя ключами

Прямоходовой преобразователь и прямоходовой преобразователь с активной ограничивающей цепью часто используются в приложениях средней мощности. В прямоходовом преобразователе трансформатор также используется неэффективно (из-за ограничений на рабочий цикл и несимметричной топологии).

Трансформатор прямоходового преобразователя с активной ограничивающей цепью в установившемся режиме работает в двух квадрантах, однако при запуске и во время переходных процессов пиковые значения магнитного потока могут достигать очень высоких значений. Для возврата трансформатора

в исходное состояние в прямоходовых преобразователях и прямоходовых преобразователях с активной ограничивающей цепью ограничивают значение максимального коэффициента рабочего цикла.

Остальные три топологии: двухтактного преобразователя, полумостового преобразователя являются симметричными схемами, поэтому в них передача мощности происходит в двух квадрантах В-Н-кривой, и они не требуют дополнительных элементов для возврата трансформаторов в исходное состояние. Такие топологии наилучшим образом подходят для приложений, требующих максимальной плотности мощности, поскольку сердечник трансформатора используется в них максимально.

Другим достоинством симметричных схем является то, что в них можно оптимизировать работу трансформатора, используя большой диапазон допустимых коэффициентов рабочих циклов. Симметричные схемы могут работать с максимальным коэффициентом рабочего цикла, равным почти 50% в каждой половине преобразователя,

что обеспечивает на дросселе выходного фильтра максимально эффективное, почти 100-% значение коэффициента рабочего цикла. Соотношение витков обмоток трансформатора выбирается так, чтобы обеспечить максимально эффективное значение коэффициента рабочего цикла. Это позволяет значительно снизить среднеквадратичное (RMS) значение тока в трансформаторе и уменьшить размеры выходного фильтра.

На рисунке 2 показана схема двухтактного преобразователя мощности. Для упрощения схемы на ней изображены диоды D1 и D2, однако в большинстве современных высокоэффективных преобразователей мощности в качестве выпрямителей во вторичной цепи используются синхронные MOSFET. Преимуществом такой топологии является то, что она относится к симметричным схемам, однако в ней на закрытых ключах первичной цепи может наблюдаться очень высокое пиковое напряжение, до двух раз превышающее входное.

На рисунке 3 показана схема полумостового преобразователя мощности, которая реализована по симметричной топологии. Ее преимущество над двухтактной схемой заключается в том, что в ней напряжение на ключе первичной цепи не превышает входного.

Другим достоинством полумостовой топологии является одна обмотка в первичной цепи, что позволяет лучше использовать зазор сердечника. Полумостовая схема — единственная, которая может работать в режиме управления напряжением. В режиме управления током или при ограничении тока балансировка напряжения  $\frac{1}{2}V_{IN}$  в средней точке между C1 и C2 в каждом цикле не поддерживается. Чтобы полумостовой преобразователь мог работать в режиме управления током, в его схему необходимо добавить активные цепи балансировки средней точки. Однако эти цепи могут значительно усложнить схему.

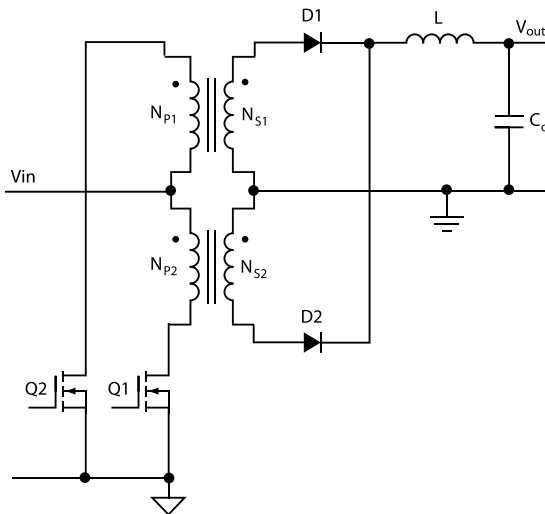


Рис. 2. Двухтактная топология

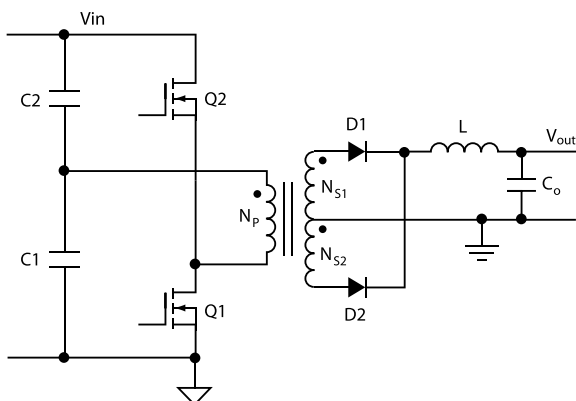


Рис. 3. Полумостовая топология

### МОСТОВЫЕ ТОПОЛОГИИ

На рисунке 4 показана мостовая схема преобразователя мощности, которая имеет все преимущества симметричных схем. Напряжение на ключе первичной цепи никогда не превышает входного напряжения. Поскольку в схеме есть только одна первичная обмотка, в ней очень эффективно используется зазор сердечника трансформатора. Когда один из ключей первичной цепи мостового преобразователя активен, напряжение на первичной обмотке трансформатора равно  $\frac{1}{2}V_{IN}$ . Когда в схеме мостового преобразователя активна пара ключей, расположенных по диа-

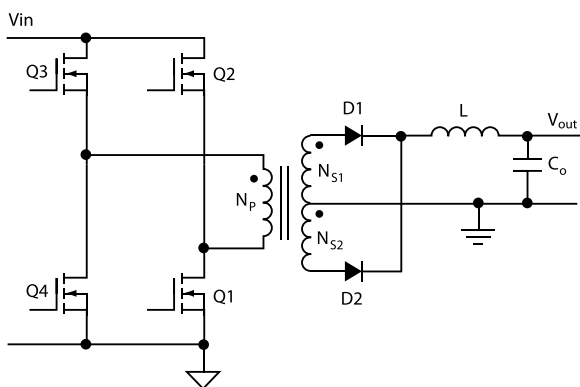


Рис. 4. Мостовая схема обладает всеми достоинствами симметричных схем

гонали, напряжение на первичной обмотке трансформатора равно  $V_{IN}$ . Значит, при одной и той же мощности ток в первичной цепи мостового преобразователя будет в два раза меньше тока в первичной цепи полумостового преобразователя. Снижение тока позволяет увеличить эффективность мостовых преобразователей по сравнению с полумостовыми, что особенно существенно при больших токах в нагрузке. Недостатком мостовых преобразователей является сложность управления четырьмя ключами первичной цепи и увеличение стоимости за счет введения в схему дополнительных ключей. Однако в сравнении с полумостовыми схемами, фактор дополнительной стоимости слегка компенсируется исключением входных конденсаторов.

## НОВОСТИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

**| ТЕОРИЯ МЕМРИСТОРА НЕСОСТОЯТЕЛЬНА? |** Блейз Мутте (Blaise Mouttet), аспирант Университета Джорджа Мейсона, опубликовал теоретическую работу, в которой называется множество динамических систем, выходящих за понятие т.н. мемристора — двухполюсника с нелинейной ВАХ и гистерезисом. В докладе говорится об ошибочности предположения Леона Чуа (Leon Chua), создателя теории мемристора, будто бы все кривые гистерезиса определяют мемристоры.

Мутте оспаривает представление о том, что мемристор является четвертым фундаментальным элементом цепи после резистора, конденсатора и индуктивности. Аспирант утверждает, что устройство, которое разрабатывается в лабораториях компании HP, нельзя классифицировать как мемристор, т.к. оно относится к более широкому классу систем с переменным сопротивлением. (Hewlett Packard с 2008 г. пытается на основе мемристора создать технологию резистивной памяти RAM металл-оксидного типа).

Некоторые исследователи поддержали позицию Мутте, заявив, что попытка определить любой двухполюсник, в котором сопротивление меняется в зависимости от величины протекающего тока, как мемристор, не позволяет объяснить существования разных типов устройств. К этим типам устройств относятся резистивная память RAM (RRAM, или ReRAM), память с изменением фазового состояния (PCM), или PCRAM, память с проводящим мостом (conductive-bridging RAM, CBRAM), а также сегнетоэлектрическая RAM (FRAM).

[www.elcomdesign.ru](http://www.elcomdesign.ru)

Существует еще одна схема мостового преобразователя, используемого в приложениях с высоким входным напряжением и большой мощностью, — фазосдвигающий мостовой преобразователь мощности (PSFB). Его схема похожа на схему традиционного мостового преобразователя, но в ней применяется другая методология управления. Характерной особенностью такой методологии является коммутация ключей первичной цепи в моменты перехода напряжения через нуль при поддержании постоянной частоты переключения. В приложениях с высоким входным напряжением такое переключение обеспечивает особенно большой выигрыш. Но вместе с тем такая топология часто требует установки (последовательно с первичной обмоткой силового трансформатора) дополнительной катушки индуктивности, обеспечивающей в условиях небольших нагрузок переключение при переходе напряжения через нуль.

К недостаткам подобной схемы можно отнести увеличение тепловых потерь в первичной катушке на всем протяжении рабочего цикла. В [1] приведена схема мостового преобразователя, построенного на контроллере, сочетающем схему управления и драйвер затвора, что позволяет использовать мостовые преобразователи в небольших маломощных приложениях. Как известно, при высоких выходных токах эффективность у мостового преобразователя выше, чем у полумостового. При низких выходных токах мостовой преобразователь проигрывает полумостовому из-за потерь на драйвере затвора.

### СИЛОВЫЕ МОДУЛИ ИЗ МИКРОМОДУЛЕЙ

Одно из направлений повышения плотности мощности в изолированных DC/DC-преобразователях заключается в применении более эффективных топологий, рассчитанных на высокую мощность, в менее мощных приложениях. Такой подход позволяет разработчикам получать более высокие значения плотности мощности. Несколько производителей силовых модулей уже представили на рынок модули из четырех или восьми микромодулей, реализованных на базе мостовой топологии. Разработчики преобразователя LM5045 продвинулись по этому пути дальше, включив в его состав высоковольтные драйверы затворов для управления синхронными FET и дополнительные логические схемы для реализации функций предустановленных нагрузок. Такая интеграция будет характерна и для последующих разработок для всех диапазонов мощности. На очереди — встраивание в корпус ИС схем управления первичными и вторичными цепями с обеспечением гальванической развязки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Topology Key to Power Density in Isolated DC-DC Converters// Power Electronics Technology, February 2011.*
2. *Фрэнк Кэсел. Выбор топологии преобразователя// Электронные компоненты №2, 2011.*

ООО  
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН  
[www.SMD.ru](http://www.SMD.ru)

**электронные  
для поверхностного  
монтажа**

**НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК**

Керам. конденсаторы большой ёмкости, до 1000 мкФ

АЛЬТЕРНАТИВА ДОРОГОСТОЯЩИМ ТАНТАЛОВЫМ КОНДЕНСАТОРАМ



Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: [sale@smd.ru](mailto:sale@smd.ru)  
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780