

Особенности применения модулей вторичного электропитания с расширенным диапазоном входного напряжения

Александр Гончаров, Олег Негреба

В статье рассмотрены особенности схемотехники построения модулей вторичного электропитания с расширенным диапазоном входного напряжения, анализируются их достоинства и недостатки.

В настоящее время Группа компаний «Александр Электрик» (ГКАЭ) производит более 180 типов DC/DC- и AC/DC-модулей вторичного электропитания и блоков на их основе промышленного и специального назначения, различающихся номинальной мощностью и числом каналов. В номенклатуре производимой продукции представлены модули и блоки с выходными мощностями от 3 Вт до 15 кВт, которые производятся для более чем 350 предприятий промышленности и оборонного промышленного комплекса РФ.

Входные сети AC/DC-модулей питания, производимых ГКАЭ, первоначально были представлены двумя диапазонами: 80,5...138 В; 400 Гц, и 187...242 В; 50 или 400 Гц, входные сети DC/DC модулей питания – семью диапазонами: 10,5...15, 21...30, 17...36, 36...72, 82...154, 130...185, 175...350 В. Требования к качеству входного напряжения модулей вторичного электропитания изложены, например, в ГОСТ В 24425-90. Границы диапазонов входных сетей были выбраны не случайно, они выработались в результате многолетнего опыта применения модулей вторичного электропитания и блоков на их основе в различных отраслях промышленности. Ширина этих диапазонов обусловлена требованиями к аппаратуре в различных областях применения модулей вторичного электропитания, например, в промышленных сетях электроснабжения, в бортовых сетях автомобилей, подвижных объектов военного назначения, кораблей и подводных лодок, в системах питания железнодорожной техники, в си-

стемах связи гражданского и военного назначения, в системах электрообеспечения самолётов и вертолётов (по ГОСТ 19705-89).

В настоящее время предъявляются всё более высокие требования к аппаратуре промышленного, коммерческого и специального назначения. Эти требования являются ориентиром и для продукции, выпускаемой ГКАЭ. Многие потребители модулей вторичного электропитания настаивали на необходимости разработки модулей с расширенным диапазоном входного напряжения, что и было выполнено, внесено в технические условия и освоено в серийном производстве.

Модулям вторичного электропитания с расширенным диапазоном входного напряжения присущи очевидные многочисленные достоинства, связанные с универсализацией такого вида продукции. Помимо основного преимущества – возможности установки модулей питания в системы, в которых действительно присутствуют значительные отклонения питающих напряжений, их использование позволяет отказаться от систем фильтрации незначительных коротких наносекундных и микросекундных выбросов напряжения, сократить номенклатуру потребляемой продукции, т.к. появляется возможность установки одного и того же типа модулей вторичного электропитания в узлы аппаратуры, питающиеся от различающихся (иногда в разы) входных напряжений.

Однако расширение диапазона входного напряжения модулей питания неизбежно приводит к изменению их схемотехники. Модули вто-

ричного электропитания должны обеспечивать требуемое выходное напряжение при минимальном входном напряжении. И в то же время компоненты входного фильтра, ключевые транзисторы и выпрямительные диоды преобразователя должны иметь запас по напряжению для исключения их выхода из строя при максимальном напряжении питания. Такие требования влекут за собой выбор электронных компонентов для построения модулей вторичного электропитания с существенным запасом по этим параметрам в ущерб другим характеристикам (сопротивление канала полевого транзистора, прямое падение напряжение и быстрое действие выпрямительного диода). Этот выбор практически всегда приводит к значительному ухудшению КПД модуля.

Рассмотрим выбор перечисленных компонентов на примере схемотехники однотактных прямоходовых и обратноходовых преобразователей напряжения.

На рисунке 1 приведена структурная схема прямоходовых преобразователей напряжения, на рисунке 2 – примерные формы напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора преобразователя. На прямом ходе (на участке γ) напряжение U_2 прикладывается к обводному диоду VD2 преобразователя. Пренебрегая падением напряжения на выпрямительном диоде и выходном фильтре, это напряжение можно вычислить как

$$U_2 = U_{\text{нагр}}/\gamma, \quad (1)$$

где $U_{\text{нагр}}$ – требуемое стабилизированное напряжение нагрузки.

В то же время по отношению к первичной стороне это напряжение, пренебрегая падением напряжения на входном фильтре и канале откры-

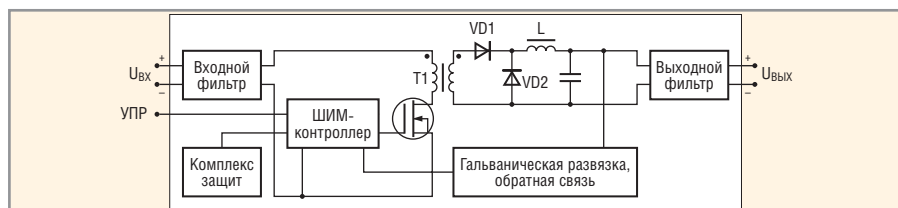


Рис. 1. Структурная схема однотактных прямоходовых преобразователей напряжения

того полевого транзистора, можно представить как:

$$U_2 = U_{вх}/K_{тр}, \quad (2)$$

где $K_{тр}$ – коэффициент трансформации трансформатора прямоходового преобразователя; $U_{вх}$ – входное напряжение прямоходового преобразователя.

Приравнявая (1) и (2), получаем:

$$\gamma = U_{нагр}K_{тр}/U_{вх}. \quad (3)$$

Таким образом, в прямоходовом преобразователе напряжения коэффициент заполнения γ , характеризующий длительность импульса прямого хода, обратно пропорционален входному напряжению – во сколько раз выше входное напряжение, во столько же раз и короче рабочий импульс. Для преобразователей с одним и тем же минимальным входным напряжением, но с кратностью диапазонов входного напряжения 2 : 1 и 4 : 1 (например, для популярных сетей 18...36 и 18...72 В), максимальное значение коэффициента заполнения γ , соответствующее входному напряжению 18 В, примем одинаковым и равным 0,64. Номинальной же длительности импульса для середины диапазона входного напряжения отвечает значение коэффициента заполнения 0,43 и 0,23 для стандартной и широкой входных сетей соответственно. Здесь следует заметить, что чем короче импульс, тем сложнее преобразователю обеспечить передачу энергии входного напряжения в нагрузку, кроме этого, узкие импульсы имеют более широкий спектр помех.

Одновременно с укорочением рабочего импульса растёт и прикладываемое к выпрямительным диодам напряжение (см. выражение (1)).

Рассмотрим выбор выпрямительных диодов в прямоходовых преобразователях с выходным напряжением 9 В для стандартного и расширенного диапазона входных напряжений.

Верхней границе диапазона в первом случае будет соответствовать значение $\gamma_1 = 0,32$, а во втором случае $\gamma_2 = 0,16$. При этом максимальное прикладываемое к обводному диоду VD2 напряжение получим равным $9 \text{ В}/0,32 \approx 28 \text{ В}$ в первом случае и $9 \text{ В}/0,16 \approx 56 \text{ В}$ во втором.

Ввиду того, что индуктивность рассеивания обмоток трансформатора создаёт дополнительные выбросы на фронтах импульсов в моменты переключения, максимальное обратное напряжение диодов должно быть примерно втрое больше полученного значения – необходимо предусмотреть выброс напряжения, равный самому импульсу и иметь полуторный запас (особенно для военной аппаратуры). Таким образом, если в преобразователе с входным напряжением 18...36 В в рассмотренном случае можно обойтись 100-вольтовым диодом Шоттки, то для диапазона входного напряжения 18...72 В необходимо использовать 200-вольтовый диод Ultrafast. Применение же диодов с большим падением напряжения, особенно диодов Ultrafast взамен диодов Шоттки, всегда приводит к увеличению потерь, обусловленному падением напряжения на переходе выпрямительного диода. Такие потери в КПД особенно сильно ощутимы при невысоком выходном напряжении модулей питания, соизмеримом с падением напряжения на самих диодах. Это относится к выходным напряжениям вплоть до 12...15 В. Помимо увеличения мощности потерь, происходит также и ухуд-

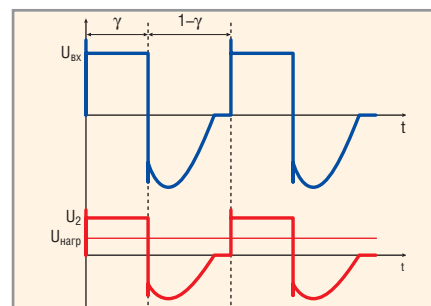


Рис. 2. Примерные формы напряжения на первичной и вторичной обмотке трансформатора прямоходового преобразователя

шение параметров электромагнитной совместимости, связанное с тем, что экстратоки, возникающие при переключении менее быстродействующих диодов Ultrafast, приводят к значительным импульсным помехам.

В однотактных обратноходовых преобразователях напряжения происходят аналогичные процессы. На рисунках 3 и 4 приведены структурная схема обратноходового преобразователя и примерные формы напряжения на первичной и вторичной обмотках его трансформатора.

Во время прямого хода (на участке γ) происходит накопление энергии в трансформаторе (многообмоточном дросселе) T1. Напряжение вторичной обмотки трансформатора при этом прикладывается к выпрямительному диоду VD1. Одновременно с увеличением входного напряжения укорачивается импульс прямого хода и увеличивается прикладываемое к выпрямительному диоду обратное напряжение. В обратноходовом преобразователе, в отличие от прямоходового, длительность импульсов прямого хода, характеризующая коэффициентом заполнения γ , укорачивается медленнее, чем растёт входное напряжение, поэтому структура обратноходового преобразователя более предпочтительна для расширенного

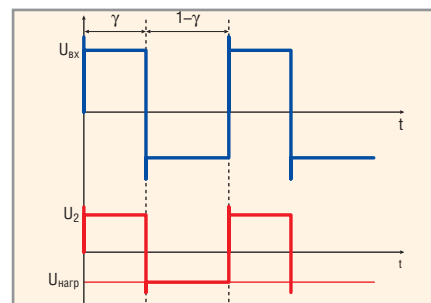


Рис. 4. Примерные формы напряжения на первичной и вторичной обмотке трансформатора обратноходового преобразователя

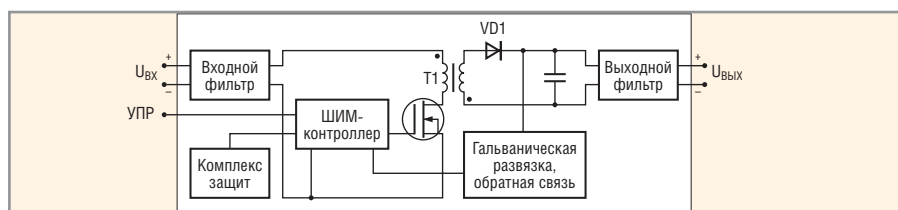


Рис. 3. Структурная схема однотактных обратноходовых преобразователей напряжения

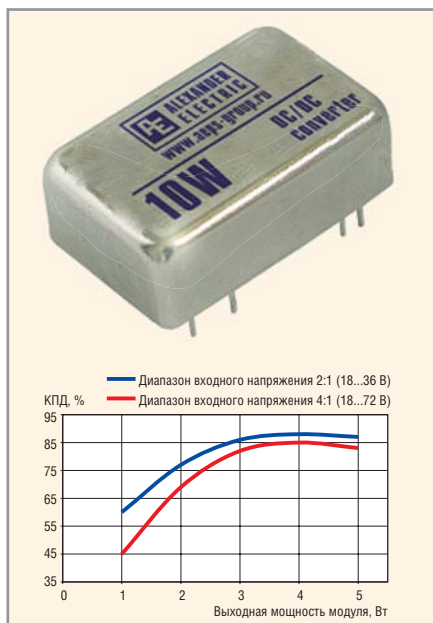


Рис. 5. Внешний вид модулей серии ТКJ и типовая зависимость КПД модулей от выходной мощности для стандартной и широкой входной сети

диапазона входной сети. Однако напряжение на выпрямительном диоде по-прежнему растёт пропорционально входному напряжению.

Оценим теперь разницу в статических потерях мощности на канале полевого транзистора (потерях на активном сопротивлении полевого транзистора) в середине диапазона рабочего напряжения для преобразователей с диапазонами входного напряжения 2 : 1 и 4 : 1.

Полевой транзистор преобразователя необходимо выбирать с максимальным напряжением сток-исток, примерно в 2,5 раза превышающим максимальное рабочее напряжение питания преобразователя. Например, для максимального напряжения питания 72 В требуется полевой транзистор с максимальным напряжением сток-исток $R_{c-и} = 200$ В, тогда как для максимального напряжения питания преобразователя 36 В обычно достаточно полевого транзистора с максимальным напряжением 100 В. Сопротивление канала у полевых транзисторов меняется нелинейно с ростом максимального напряжения. Так, у 200-вольтового IRF640N сопротивление канала в открытом состоянии составляет 0,15 Ом, а у 100-В IRF540N – всего 0,044 Ом. Принимая за среднюю величину тока значение при ранее принятом номинальном входном напряжении, можно подсчитать мощность статических потерь на канале полевого транзистора. При этом вы-

числяя мощность за длительность рабочего импульса по формуле $P = I^2 R_{c-и}$, получаем весьма ощутимую разницу в потерях на канале при меньшем коэффициенте заполнения у модулей с расширенным диапазоном входного напряжения.

Перечисленные показатели существенно влияют на ухудшение коэффициента полезного действия модулей питания с расширенным диапазоном входного напряжения и на снижение надёжности модулей.

На рисунке 5 показаны внешний вид модулей вторичного электропитания с выходной мощностью 5 Вт популярной серии ТКJ и типовая зависимость КПД модулей этой серии от выходной мощности для стандартной и широкой входной сети.

Из графика видно, что КПД модулей с расширенным диапазоном входного напряжения при выходной мощности, составляющей 0,7...1 от максимальной, на 3...4% уступает аналогичным модулям со стандартным входным диапазоном. Простой расчёт показывает, что уменьшение КПД на 4% приведёт к увеличению мощности потерь на 30%. Такое увеличение потерь в свою очередь приводит к повышенному нагреву корпуса модуля: разница в температурах корпусов модулей питания со стандартным и расширенным диапазонами при выходной мощности 5 Вт составит около 7,5°C. Учитывая, что увеличение рабочей температуры для электронной аппаратуры на каждые 10°C уменьшает её наработку на отказ вдвое, перегрев в 7,5°C уменьшает наработку на отказ в 1,6 раза. Чтобы не допустить ухудшения показателей надёжности, необходимо принимать специальные меры, позволяющие эффективнее отводить тепло от корпусов модулей питания (применять принудительный обдув, использовать дополнительный теплоотвод или увеличивать площадь имеющегося), либо эксплуатировать модуль с расширенным диапазоном входного напряжения на пониженную выходную мощность.

Аналогичные параметры, следует заметить, имеют модули питания и других производителей, в том числе одной из ведущих компаний на рынке источников питания, швейцарской фирмы Traco Power, pin-to-pin-аналогами продукции которой и являются модули питания серии ТКJ.

По результатам проведённого анализа схемотехники и параметров мо-

дулей питания со стандартным и расширенным диапазонами входного напряжения можно отметить следующие недостатки модулей с расширенным диапазоном входного напряжения:

- повышенные потери в диодах выпрямителя, в трансформаторе преобразователя и во входных фильтрах;
- повышенные статические и динамические потери в ключевом транзисторе;
- более широкий спектр помех;
- пониженная надёжность.

Несмотря на то что службам снабжения предприятий, применяющих модули питания в составе своей продукции, всегда удобнее закупать как можно меньший ассортимент комплектующих, а производителям источников питания выгодно производство узкой номенклатуры модулей, подходящих для работы с несколькими диапазонами входного напряжения, перечисленные недостатки модулей питания с расширенным диапазоном входного напряжения не позволяют этого сделать. В каждом конкретном случае применения модулей питания необходимо тщательно проанализировать условия, в которых будет работать разрабатываемое устройство, и постараться сделать всё, чтобы обойтись модулями питания со стандартным, а не с расширенным диапазоном входного напряжения. Такой выбор всегда приведёт к увеличению надёжности аппаратуры и облегчению тепловых и электрических режимов не только применяемых модулей питания, но и компонентов, совместно с которыми они эксплуатируются. Там, где имеются короткие нано- и микросекундные выбросы напряжения, лучше включить на вход модулей дополнительные фильтры подавления импульсных помех. При более продолжительных и значительных отклонениях входного напряжения необходимо рассмотреть возможность применения нескольких модулей питания на разные входные напряжения.

Таким образом, применение модулей питания с расширенным диапазоном входного напряжения может быть оправдано только в тех случаях, когда не удаётся обойтись другими средствами. При этом требуется обеспечить лучший отвод тепла от аппаратуры и использовать при необходимости более качественные входные фильтры для повышения электромагнитной совместимости. 