

Особенности применения модулей вторичного электропитания с расширенным диапазоном входного напряжения

Александр ГОНЧАРОВ,
к. т. н.

Олег НЕГРЕБА
alexdon@vmail.ru

В настоящее время Группа компаний «Александр Электрик» (ГКАЭ) производит более 180 типов DC/DC и AC/DC-модулей и блоков вторичного электропитания промышленного и специального назначения, с различной номинальной мощностью и числом каналов. В номенклатуре продукции — модули и блоки с выходными мощностями от 3 Вт до 15 кВт для более 350 предприятий промышленности и оборонного 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 В, 21–30 В, 17–36 В, 36–72 В, 82–154 В, 130–185 В, 175–350 В. Определение диапазонов входных сетей обусловлено требованиями к аппаратуре и является результатом многолетнего опыта применения модулей и блоков вторичного электропитания, например, в промышленных сетях электроснабжения, в бортовых сетях автомобилей, подвижных объектов военного назначения, кораблей и подводных лодок; в системах питания железнодорожной техники, связи гражданского и военного назначения, электроснабжения самолетов и вертолетов (по ГОСТ 19705-89). Требования к качеству входного напряжения модулей вторичного электропитания изложены, например, в ГОСТ В 24425-90.

Поскольку в настоящее время критерии оценки аппаратуры промышленного, коммерческого и специального назначения более высокие, нежели раньше, это стало ориентиром и для выпуска продукции ГКАЭ. Многие потребители настаивали на необходимости разработки модулей с расширенным диапазоном входного напряжения, что и было внесено в технические условия и освоено в серийном производстве.

Предприятия ГКАЭ выпускают сейчас несколько серий модулей питания с расширенным диапазоном входного напряжения, в частности DC/DC-модули питания серий MR, MR-T, МДМ всех вариантов исполнения, ТКJ, ТК, а также AC/DC-модули питания серий HL30, NN60, AR150, KS400, KT800, RD1200. Достоинства таких модулей связаны с их универсализацией. Помимо основного преимущества — возможности установки модулей питания в системы, в которых действительно присутствуют значительные от-

клонения питающих напряжений, они позволяют отказаться от систем фильтрации незначительных коротких наносекундных и микросекундных выбросов напряжения, сокращают номенклатуру потребляемой продукции, т. к. появляется возможность установки одного и того же типа модулей вторичного электропитания в узлы аппаратуры, входные напряжения которых различаются иногда в несколько раз.

Однако расширение диапазона входного напряжения модулей питания неизбежно приводит к изменению их схемотехники. Модули вторичного электропитания должны обеспечивать требуемое выходное напряжение при минимальном входном напряжении, и в то же время компоненты входного фильтра, ключевые транзисторы, выпрямительные диоды преобразователя должны иметь запас напряжения, чтобы исключить

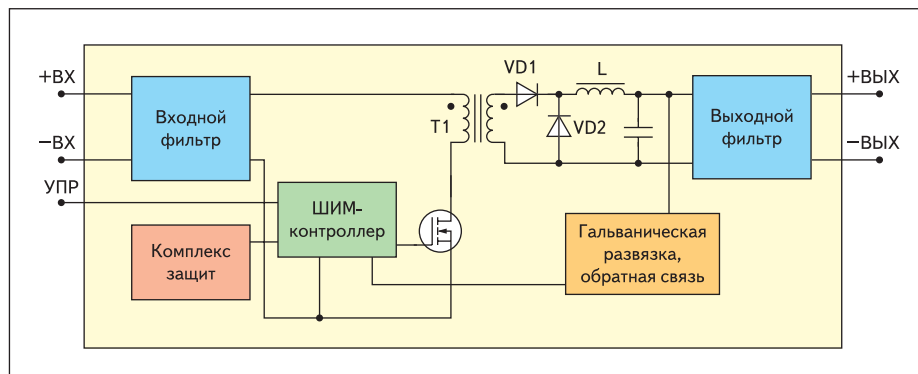


Рис. 1. Структурная схема однотактных прямоходовых преобразователей напряжения

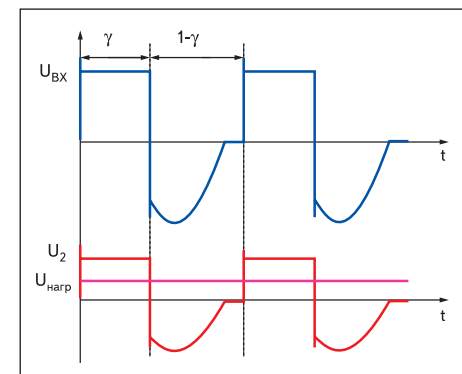


Рис. 2. Примерные формы напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора прямоходового преобразователя

их выход из строя при максимальном напряжении питания. Подобные требования влекут за собой выбор и использование электронных компонентов для построения таких модулей с существенным запасом по указанным параметрам в ущерб другим характеристикам (сопротивление канала полевого транзистора, прямое падение напряжение и быстроедействие выпрямительного диода). Это практически всегда приводит к значительному уменьшению КПД модуля.

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

На рис. 1 приведена структурная схема прямоходовых преобразователей напряжения, на рис. 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, пренебрегая падением напряжения на входном фильтре и канале открытого полевого транзистора, это напряжение вычисляется как

$$U_2 = U_{\text{вх}}/K_{\text{тр}}, \quad (2)$$

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

Сводим (1) и (2) в одну формулу и получаем

$$U_{\text{нагр}}/\gamma = U_{\text{вх}}/K_{\text{тр}},$$

или

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

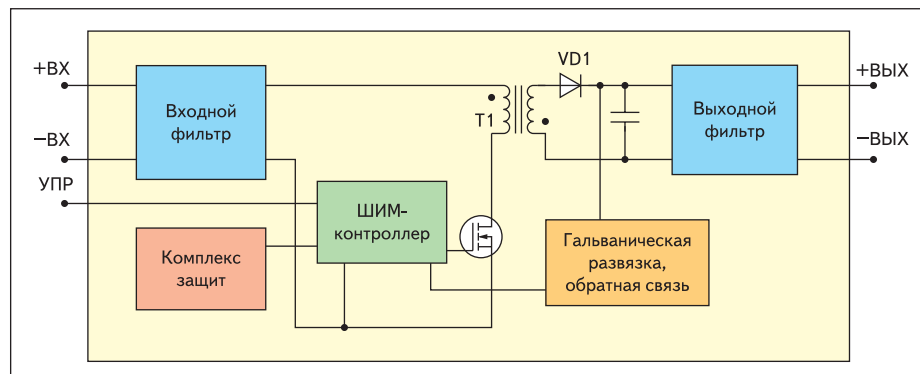


Рис. 3. Структурная схема однотактных обратных преобразователей напряжения

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.

Будем использовать в последующих рассуждениях коэффициент кратности входного напряжения, показывающий, во сколько раз оно может изменяться.

$$K_{\text{кр}} = U_{\text{вх макс}}/U_{\text{вх мин}}. \quad (4)$$

Для преобразователей с одним и тем же минимальным входным напряжением, но с коэффициентом кратности входного напряжения 2 и 4 (например для популярных сетей 18–36 В и 18–72 В) максимальное значение коэффициента заполнения γ , соответствующее входному напряжению 18 В, прием одинаковым и равным 0,64. Значение коэффициента заполнения 0,43 и 0,23, соответственно для стандартной и широкой входных сетей, отвечает номинальной длительности импульса для середины диапазона входного напряжения. 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 растет и прикладываемое к выпрямительным диодам напряжение (1).

При выборе выпрямительных диодов в прямоходовых преобразователях с выходным напряжением 9 В для стандартной и расширенной входных сетей верхней границе диапазона в первом случае будет соответствовать значение $\gamma_1 = 0,32$, а во втором — $\gamma_2 = 0,16$. Максимальное прикладываемое к обводному диоду VD2 напряжение получим равным 9 В/0,32 ≈ 28 В в первом случае и 9 В/0,16 ≈ 56 В во втором.

Ввиду того, что индуктивность рассеивания обмоток трансформатора создает 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 Ultrafast взамен Шоттки, всегда приводит к увеличению потерь, обусловленному падением напряжения на переходе выпрямительного диода. Они особенно сильно ощутимы при невысоком выходном напряжении модулей питания (до 12–15 В), соизмеримом с падением напряжения на самих диодах. Происходит также и ухудшение параметров электромагнитной совместимости, связанное с тем, что экстрастоки, возникающие при переключении менее быстродействующих диодов Ultrafast, приводят к значительным импульсным помехам.

В однотактных обратных преобразователях напряжения происходят аналогичные процессы. На рис. 3 и 4 приведены структурная схема обратного 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 обратном преобразователе, в отличие от прямоходового, длительность импульсов прямого хода, характеризуемая коэффициентом заполнения γ , укорачивается медленнее, чем растет входное напряжение, поэтому структура обратного преобразователя более предпочтительна для расширенного диапазона входной сети, однако напряжение на выпрямительном диоде

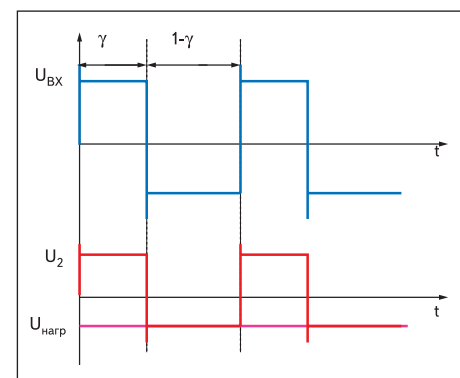


Рис. 4. Примерные формы напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора обратного преобразователя

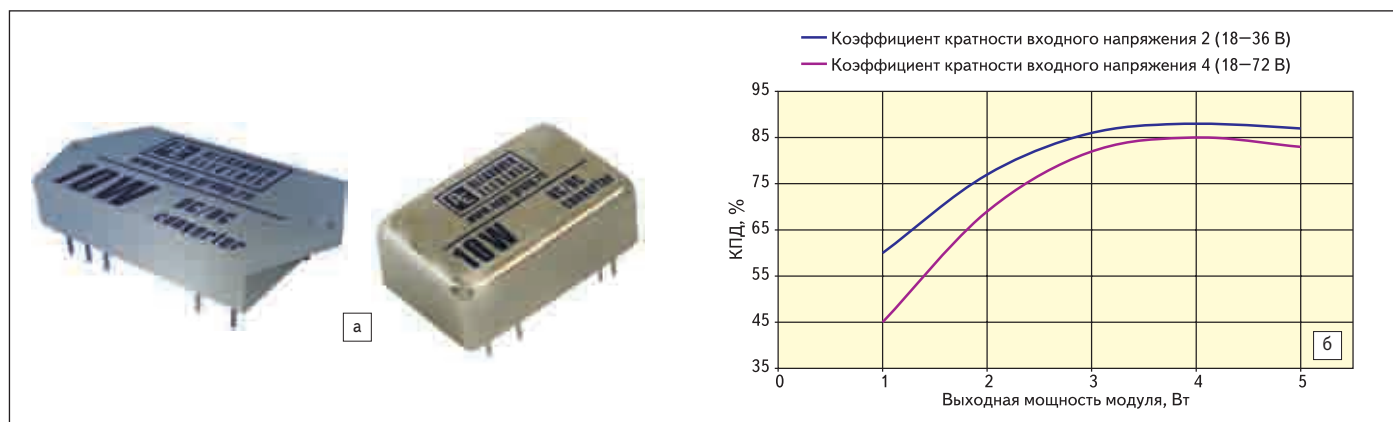


Рис. 5. Модуль МДМ5-1В12СУП: а) внешний вид; б) типовая зависимость КПД модулей от выходной мощности для стандартной и широкой входной сети

по-прежнему растет пропорционально входному напряжению.

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

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 применение полевого транзистора 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-вольтового IRF540N — 0,044 Ом. Принимая за среднюю величину значение тока при ранее принятом номинальном входном напряжении, можно подсчитать мощность статических потерь на канале полевого транзистора. При этом, вычисляя мощность при прохождении рабочего импульса по формуле $P = I^2 \times R_{c-и}$, получаем весьма ощутимую разницу в потерях при меньшем коэффициенте заполнения у модулей с широкой входной сетью.

Перечисленные показатели существенно влияют на уменьшение КПД модулей питания с расширенным диапазоном входного напряжения и на снижение их надежности.

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

Из показанного графика видно, что КПД модулей с расширенным диапазоном входного напряжения при выходной мощности, со-

ставляющей 0,7–1 от максимальной, на 3–4% уступает аналогичным модулям со стандартным входным диапазоном. Простой расчет показывает, что уменьшение КПД на 4% приведет к увеличению потерь на 30%. Это, в свою очередь, приводит к повышенному нагреву корпуса модуля, разница в температурах корпусов модулей питания со стандартной и широкой входной сетью при выходной мощности 5 Вт составит около 7,5 °С. Учитывая, что увеличение рабочей температуры для электронной аппаратуры на каждые 10 °С уменьшает ее наработку на отказ вдвое, перегрев в 7,5 °С уменьшает наработку на отказ в 1,6 раза. Чтобы не допустить ухудшения показателей надежности, 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.

Проведенный анализ схемотехники и параметров модулей питания со стандартной и широкой входной сетью показывает недостатки модулей с расширенным диапазоном входного напряжения:

- повышенные потери в диодах выпрямителя;
- повышенные статические и динамические потери в ключевом транзисторе;
- повышенные потери в трансформаторе преобразователя;
- узкие рабочие импульсы — источник более широкого спектра помех;
- повышенные потери в более сложных входных фильтрах;
- дополнительное снижение надежности схемы за счет большего количества элементов.

Несмотря на то, что службам снабжения предприятий, применяющих модули питания в составе своей продукции, всегда удобнее закупать для производства как можно меньший ассортимент комплектующих, а производителям источников питания выгодно произ-

водство узкой номенклатуры модулей, подходящих для работы с несколькими диапазонами входного напряжения, перечисленные недостатки модулей питания с широкой сетью входного напряжения не позволяют этого сделать. В каждом конкретном случае применения модулей питания необходимо тщательно проанализировать условия, в которых будет действовать разрабатываемое устройство, и постараться обойтись модулями питания со стандартным, а не с расширенным диапазоном входного напряжения. Такой выбор всегда приведет к увеличению надежности 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 продолжительных значительных отклонениях напряжения необходимо рассмотреть возможность применения нескольких модулей питания на разные входные сети.

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

Литература

1. Каталог продукции группы компаний «Александр Электрик» 2006. www.w.aeps-group.ru
2. Гончаров А., Лукьянов И. Высокоэффективные DC/DC-преобразователи для жестких применений серии «Мистраль» группы компаний «Александр Электрик» // Электронные компоненты. 2005. № 8.
3. Гончаров А., Савенков В. AC/DC-модули электропитания группы компаний «Александр Электрик» для аппаратуры специального назначения // Электронные компоненты. 2005. № 8.