

В.В. Александров, В.И. Самулеев, М.Г. Тылес
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ИМПУЛЬСНЫЕ ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

В связи с широким развитием систем вторичного электропитания все большее применение находят преобразователи постоянного напряжения со звеном повышенной частоты.

В последнее время особое внимание уделяется одноктактным импульсным преобразователям постоянного напряжения (ИПН). Известно, что при проектировании одноктактных преобразователей важно обеспечить размагничивание магнитопровода их трансформатора как в установившемся режиме работы, так и при выключении ИПН, поскольку в противном случае при следующем включении преобразователя магнитопровод окажется насыщенным и произойдет резкий рост тока силового ключа, что приведет к его отказу.

В схеме, изображенной на рис. 1, а, необходимо размагничивать магнитопровод трансформатора во время паузы. С этой целью для улучшения массогабаритных характеристик трансформатора используют различные схемотехнические решения. В частности, был разработан механизм размагничивания сердечника с использованием паразитных емкостей и индуктивностей как монтажа, так и компонентов преобразователя. Идея состояла в том, чтобы передать энергию обратного такта в нагрузку без применения размагничивающей обмотки. Соотнеся параметры паразитных индуктивностей и емкостей с требованиями размагничивания магнитопровода, можно добиться автоматической и сбалансированной схемы размагничивания сердечника трансформатора. Достоинством такого метода является исключение вспомогательных обмоток, что предоставляет большую площадь для силовых обмоток. Проведенные исследования показали, что метод применим для маломощных преобразователей (не более 50–75 Вт), при этом коэффициент заполнения не превышает 0,65, а КПД достигает 85%.

В схеме с обратным включением диода (рис. 1, б) при замкнутом VT1 происходит накопление энергии в первичной обмотке трансформатора TV1, при этом нагрузка питается энергией, ранее накопленной в конденсаторе. При разомкнутом VT1 энергия, накопленная в трансформаторе, передается частично в нагрузку, а частично идет на подзаряд конденсатора. В этой схеме происходит перемагничивание сердечника трансформатора по несимметричным частым гистерезисным циклам (в пределах до величины остаточной магнитной индукции) без каких-либо дополнительных устройств. Однако масса и габариты трансформатора оказываются неоправданно завышенными.

Для размагничивания сердечника трансформатора во время паузы часто применяют размагничивающие обмотки, замкнутые на источник питания или на нагрузку. По существу схемы таких преобразователей представляют собой комбинации схем, показанных на рис. 1.

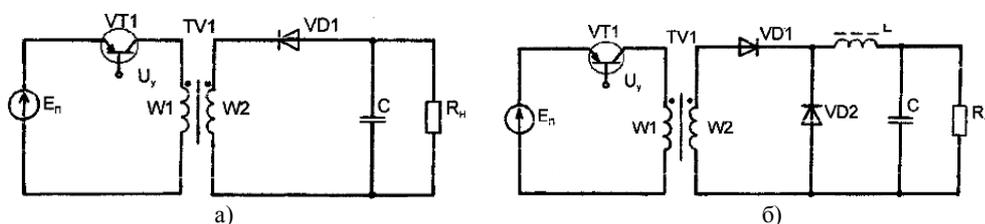


Рис. 1

В таких схемах энергия от первичного источника передается в нагрузку во время замкнутого состояния силового транзисторного ключа, а при его размыкании энергия, накопленная в трансформаторе частично или полностью возвращается через размагничивающую обмотку в первичный источник питания или передается в нагрузку. При этом обеспечивается размагничивание магнитопровода до остаточной индукции. Эти схемы достаточно хорошо известны и успешно применяются в источниках вторичного электропитания. Они более надежны и не требуют точного учета паразитных параметров, что является достаточно сложной задачей, а иногда и просто невозможно. В наших работах приводятся результаты исследования таких преобразователей мощностью до 500 Вт и более.

Во всех рассмотренных выше случаях обеспечивается перемагничивание сердечника трансформатора по однополярным частным гистерезисным циклам. Это приводит к существенному увеличению массы и габаритов трансформаторов и ИПН в целом. Кроме того, режим однополярного перемагничивания ограничивает коэффициент трансформации и уровень выходных мощностей ИПН при заданном ряде типовых размеров сердечников. Устранение этих недостатков возможно при обеспечении двухполярного перемагничивания сердечников трансформаторов. Для обеспечения такого режима необходимо использовать некоторую энергию, которая должна поступать в сердечник трансформатора при выключенном транзисторе. Эту энергию можно запасти при включенном транзисторе в специальном емкостном накопителе, но наиболее перспективными являются схемы преобразователей, в которых для перемагничивания сердечника трансформатора используется часть энергии дросселя фильтра. Достигается это тем, что в трансформатор вводится цепь его принудительного перемагничивания, включенная последовательно с выходным дросселем фильтра.

Указанный способ обеспечения двухполярного перемагничивания сердечника трансформатора может быть использован во всех известных схемах однотактных преобразователей с размагничивающими цепями (например, размагничивающей обмоткой) за счет перемагничивания сердечника трансформатора через дополнительную обмотку, которая может быть выполнена самостоятельной или совмещенной. Все схемы однотактных ИПН могут быть положены в основу построения двоярных структур, представляющих собой два однотактных преобразователя, работающих в режиме противофазного управления на общую нагрузку.

Введение в однотактный двоярный преобразователь цепей взаимного перемагничивания силовых трансформаторов позволяет значительно повысить удельные характеристики ИПН. По своим массогабаритным и энергетическим показателям двоярные однотактные ИПН подобны двухтактным и превосходят некоторые из них. Кроме того, более эффективные магнитопроводы с небольшими размерами способствуют значительному увеличению КПД.

Значительные улучшения различных характеристик ИПН, особенно в области рабочих частот 250 кГц и более дает применение наряду с обратной связью по напряжению дополнительной обратной связи по току первичной обмотки силового трансформатора. При этом обеспечивается параметрическая компенсация отклонения входного напряжения и ограничение тока силового ключа в каждом рабочем цикле. Повышается собственная устойчивость системы, упрощается частотная коррекция всего контура обратной связи и уменьшается время реакции контура как при малых, так и при больших токах нагрузки. Упрощается также процесс параллельного распределения токов в преобразовательных ячейках многозвенных преобразователей постоянного напряжения, что позволяет разрабатывать ИПН на базе однотактных преобразователей мощностью несколько кВт. В импульсных преобразователях постоянного напряжения в качестве силовых ключей используются биполярные и полевые транзисторы или силовые транзисторные модули.

Еще со времени создания первых транзисторных преобразователей было ясно, что повышение частоты переключения является одним из действенных способов сниже-

ния массы и объема устройства, а следовательно, и улучшения его технико-экономических показателей. Объясняется это тем, что трансформаторы, дроссели, конденсаторы, применяемые в силовой части и во многом определяющие массо-объемные показатели ИПН, уменьшаются в размерах с ростом рабочей частоты. Препятствуют повышению частоты потери во всех компонентах, но прежде всего в транзисторах и диодах. Построение преобразователя с уменьшенными потерями на переключение является по-прежнему актуальной задачей.

В наших работах рассматриваются ИПН с мягким переключением, когда реализуется включение транзистора при нуле напряжения на его силовых выводах, что обеспечивает минимальные потери в нем при нарастании тока. Потери на выключение при использовании современных транзисторов значительно меньше потерь на включение и для их снижения вполне достаточно правильно организовать цепи запирающего ключа.

Преобразователи с мягким переключением могут быть одноктактными или двухтактными, работающими в симметричном или несимметричном режимах. Силовые ключи при этом работают с меньшими перегрузками по току и в них меньше потери в открытом состоянии. В докладе рассматриваются наиболее часто применяемые схемы таких преобразователей, особенности их работы, достоинства и недостатки.

Важным элементом повышения эффективности ИПН является применение демпфирующих цепей, подключаемых к силовым транзисторам и диодам. Прежде всего, они обеспечивают область безопасной работы транзисторов, ограничивая обратное напряжение и не допуская режимы, где возможен вторичный пробой.

Второй задачей, решаемой с помощью демпфирующих цепей, является снижение потерь на переключения, повышение энергетической эффективности устройства. Кроме того, демпфирующие цепи уменьшают электромагнитные помехи, как в проводниках преобразователя, так и излучаемые в пространство. В докладе рассматриваются основные схемы демпфирующих цепей, подключаемых к полевым транзисторам MOSFET и биполярным транзисторам с изолированным затвором IGBT, их проектирование и расчет.

Одним из возможных способов повышения эффективности ИПН в структуре вторичных источников электроэнергии является исключение холостого хода преобразователя, т.е. его отключение при отсутствии нагрузки. В докладе рассматриваются схемы, реализующие этот принцип и защищенные авторскими свидетельствами.

При отсутствии нагрузки, например, при неработающем холодильнике, преобразователь переходит в ждущий режим, его входной ток становится равен нулю и аккумуляторная батарея не разряжается.

Дальнейшим развитием этого способа является система управления ИПН, обеспечивающая работу нескольких электроприемников от одного преобразователя. В докладе представлена схема подключения двух приемников к одному преобразователю. Когда работает один из них, другой отключен от источника энергии. Эта схема позволяет обеспечить работу, например, двух холодильников от одного источника, причем, мощность ИПН определяется мощностью только одного холодильника.

Применение таких схем позволяет значительно продлить срок службы аккумуляторной батареи, уменьшить установочную мощность преобразователя и, следовательно, снизить его стоимость и повысить КПД и коэффициент использования.