

Сравнительная оценка двух типов преобразователей постоянного напряжения

Валерий Мелешкин (Москва)

Автор сравнивает два типа одноктных обратных преобразователей постоянного напряжения – повышающего и инвертирующего. В условиях равных входных и выходных напряжений и мощностей сравнение оказывается в пользу инвертирующих преобразователей перед повышающими.

Одноктные обратные преобразователи – повышающие, понижающие и инвертирующие – широко используются в современных устройствах силовой электроники как своеобразные трансформаторы, точнее, автотрансформаторы постоянного напряжения. Базовые структуры этих преобразователей уже давно и достаточно хорошо изучены и описаны [1 – 4], однако преобразователи, составленные из таких базовых блоков, обнаруживают порой неожиданные свойства и особенности, которые могут оказаться полезными для современных разработчиков. Приведённые ниже соображения, возможно, послужат подтверждением этому.

Итак, напомним вкратце принцип действия и основные свойства двух таких базовых структур – повышающей (рис. 1) и инвертирующей (рис. 2). Как видно, у них много общего – ключевой режим работы (как правило, с использованием широтно-импульсной модуляции), состав элементов (транзистор S и диод D, дроссель L и конденсатор C) и даже схемотехника (дроссель и транзистор подсоединены к источнику энергии с напряжением V , конденсатор и диод – к потребителю энергии с током J , причём источник и потребитель имеют общий вывод).

Единственное и определяющее различие между ними состоит в том,

что выходное напряжение U в повышающем преобразователе всегда больше входного V , причём полярность этих напряжений относительно общего вывода одинакова, а в инвертирующем преобразователе выходное напряжение может быть как больше, так и меньше входного, но полярности их относительно общего вывода всегда противоположны (инверсия напряжения).

Для упрощения последующего анализа сделаем общепринятые допущения: во-первых, предположим отсутствие тепловых потерь во всех элементах преобразователей, а также в источниках и потребителях энергии; во-вторых, будем считать пренебрежимо малыми пульсации тока в дросселях и напряжения на конденсаторах, обусловленные ключевым режимом работы преобразователей; и в-третьих, примем неизменным период T коммутации силовых ключей, а требуемую стабилизацию напряжения на выходе преобразователей полагаем осуществлять изменением относительной (относительно периода T) продолжительности γ проводящего состояния транзисторов.

Переходя к анализу базовых структур преобразователей, отметим, в частности, что в инвертирующем преобразователе на интервале времени $0 \leq t \leq \gamma T$ происходит передача

энергии из источника в дроссель, так что

$$V = L \frac{\Delta I}{\gamma T},$$

где L – индуктивность дросселя и ΔI – размах пульсаций тока в нём, а на интервале времени $\gamma T \leq t \leq T$ эта энергия из дросселя поступает в конденсатор и потребитель, следовательно,

$$U = L \frac{\Delta I}{(1 - \gamma)T}.$$

Считая величины L , T и ΔI неизменными в установившемся режиме, из приведённых соотношений находим:

$$\gamma V = (1 - \gamma)U. \quad (1)$$

Аналогичное соотношение можно получить и для повышающего преобразователя, если учесть, что в нём передача энергии на втором интервале происходит с участием источника, т.е.

$$U - V = L \frac{\Delta I}{(1 - \gamma)T}.$$

В результате находим:

$$V = (1 - \gamma)U. \quad (2)$$

Полученные соотношения (1) и (2), а также ещё несколько полезных (без доказательства) соотношений приведены в табл. 1, где, в частности, входная и выходная мощности преобразователей равны (допущение об отсутствии потерь) и потому обозначены одной и той же буквой P . Подстрочные индексы 1 и 2 соответствуют номерам рисунков, на которых изображены схемы повышающего и инвертирующего преобразователей.

Сравнение базовых структур выполним при одинаковых напряжениях на силовых ключах ($U_1 = V_2 + U_2$) и прочих равных условиях:

$$\begin{aligned} V_1 = V_2 = V, I_{L1} = I_{L2} = I, \\ J_1 = J_2 = J, \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma. \end{aligned} \quad (3)$$

В итоге получаем, что мощности инвертирующего и повышающего преобразователей связаны соотно-

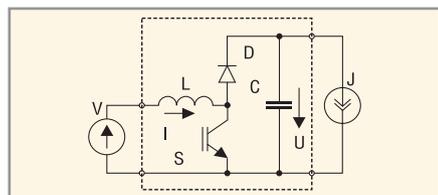


Рис. 1. Схема повышающего преобразователя

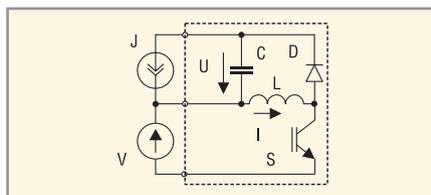


Рис. 2. Схема инвертирующего преобразователя

шением $P_2 = \gamma P_1$, т.е. по реализуемой мощности инвертирующий преобразователь уступает повышающему. Этот результат вполне согласуется с рассмотренными выше особенностями базовых структур: в повышающем преобразователе энергия поступает от источника непрерывно, а в инвертирующем преобразователе – только на первом интервале периода коммутации.

Теперь перейдём к рассмотрению составного преобразователя, схема которого приведена на рис. 3. Нетрудно показать, что этот преобразователь состоит из двух инвертирующих блоков, входы которых подсоединены к источнику энергии параллельно, а их выходы – последовательно с источником. Для этого достаточно заменить реальный потребитель J тремя эквивалентными (с таким же током J и соединёнными последовательно), а образовавшиеся при этом дополнительные выводы потребителей совместить с выводами источника так, что крайние потребители оказываются подсоединёнными параллельно конденсаторам, а средний – параллельно источнику. При этом один из блоков (элементы $S1, D1, L1$ и $C1$) в точности повторяет базовую структуру инвертирующего блока, изображённую на рис. 2, а структура другого (на элементах $S2, D2, L2$ и $C2$) является «зеркальным» отображением структуры первого.

«Зеркальность» структур базовых блоков проявляется и в их функциональном назначении – первый блок повышает положительный потенциал источника, а второй блок понижает его отрицательный потенциал, так что выходные выводы преобразователя потенциально симметричны относительно воображаемого среднего вывода источника.

Две другие примечательные особенности рассматриваемого преобразователя состоят в следующем: во-первых, напряжение на каждом из конденсаторов равно полуразности выходного и входного напряжений и, во-вторых, напряжение на каждом из транзисторов (в непроводящем состоянии) равно полусумме выходного и входного напряжений.

Перечисленные особенности – все вместе и каждая в отдельности – уже выгодно отличают рассматриваемый преобразователь от структуры

повышающего блока, изображённой на рис. 1. Тем не менее, представляет интерес и количественная оценка сравниваемых схмотехнических решений, при этом логично сравнивать составной инвертирующий преобразователь с составным же повышающим преобразователем, схема которого приведена на рис. 4. Как видно, этот преобразователь тоже содержит два базовых блока, входы и выходы которых соединены параллельно и подключены соответственно к общему источнику V и потребителю J .

Базовыми величинами при оценке составных преобразователей назовём неизменные напряжение источника (V) и ток потребителя (J), а в качестве критериев для сравнения выберем напряжение на конденсаторе (U_C) и ток в дросселе (I_D), а также напряжение на транзисторе (U_S), полагая, что при прочих равных условиях названные параметры в значительной степени определяют массогабаритные и стоимостные показатели преобразователей.

Результаты анализа составных преобразователей приведены в табл. 2, где надстрочный символ «*» использован для обозначения относительных значений (относительно упомянутых выше базовых величин), а коэффициент k равен отношению U/V и соответствует коэффициенту «трансформации» постоянного напряжения в инвертирующем базовом блоке. Приведённые соотношения очевидно следуют из сравнения схем составных преобразователей. Исключением, возможно, являются оценки тока дросселя, и для их обоснования обратимся к табл. 1,

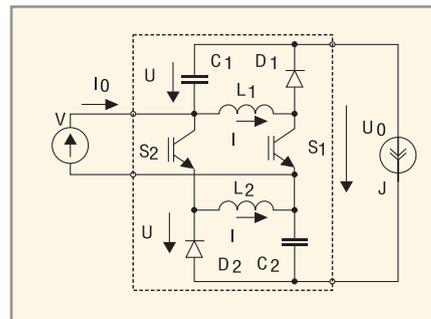


Рис. 3. Схема составного инвертирующего преобразователя

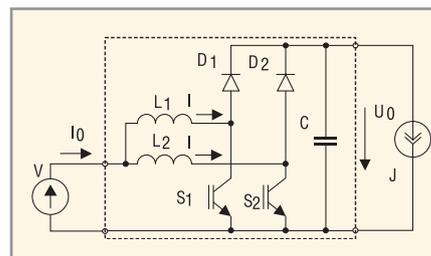


Рис. 4. Схема составного повышающего преобразователя

из которой для базовых структур следует:

$$I_{L1} = \frac{J_1}{1 - \gamma_1} = \frac{J_1 U_1}{V_1}$$

Учитывая особенности составных преобразователей, а именно:

$$V_1 = V_2 = V, \quad 2J_1 = J_2 = J, \\ U_1 = V + 2U, \quad U_2 = U,$$

и меняя подстрочные индексы (1 на 4 и 2 на 3), приходим к искомому выводу:

$$I_{L2} = \frac{J_2}{1 - \gamma_2} = \frac{J_2 (V_2 + U_2)}{V_2}$$

Сравнение составных преобразователей с использованием табл. 2 показывает, что по уровню напряжения на силовых элементах инвертирующий пре-

Таблица 1. Основные расчётные соотношения для базовых структур преобразователей

Наименование параметров (входных и выходных)	Типы преобразователей	
	повышающий	инвертирующий
Напряжения	$V_1 = (1 - \gamma_1)U_1$	$\gamma_2 V_2 = (1 - \gamma_2)U_2$
Токи	$J_1 = (1 - \gamma_1)I_1$, где $I_1 = I_{L1}$	$\gamma_2 J_2 = (1 - \gamma_2)I_2$, где $I_2 = \gamma_2 I_{L2}$
Мощности	$P_1 = V_1 I_1 = U_1 J_1$	$P_2 = \gamma_2 V_2 I_2 = U_2 J_2$

Таблица 2. Сравнительная оценка составных преобразователей

Наименование параметров (критериев)	Типы составных преобразователей	
	инвертирующий	повышающий
Напряжение на конденсаторе	$U_{C3}^* = k$	$U_{C4}^* = 1 + 2k$
Ток дросселя	$I_{L3}^* = 1 + k$	$I_{L4}^* = 0,5 + k$
Напряжение на транзисторе	$U_{S3}^* = 1 + k$	$U_{S4}^* = 1 + 2k$

образователь предпочтительнее повышающего, а по величине тока в дросселях (и силовых ключах) он незначительно уступает последнему, причём преимущества инвертирующего преобразователя тем заметнее, чем больше коэффициент трансформации k . В частности, уже при $k = 1$ напряжение на конденсаторах инвертирующего преобразователя меньше втрое, а на тран-

зисторах – в полтора раза. При этом ток в дросселях (и транзисторах) инвертирующего преобразователя превышает соответствующий ток в повышающем преобразователе всего на одну треть.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моин В.С., Латтев Н.Н. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М., Энергия, 1972.

2. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. Уильямс Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление. Справочное пособие: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1993.

4. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. Изд. 3-е, испр. и доп. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Первые особые экономические зоны могут появиться в России уже через год

Первые особые экономические зоны (ОЭЗ) могут появиться в России к концу 2007 г. Об этом сегодня в ходе подписания соглашения о сотрудничестве с Торгово-промышленной палатой РФ (ТПП) заявил глава Федерального агентства по управлению ОЭЗ Ю. Жданов. Чиновник напомнил, что в настоящее время проходит конкурс по отбору ОЭЗ, и сообщил, что семь российских регионов уже подали официальные заявки. Всего ожидается 42 заявки. «Почти половина регионов готова участвовать в конкурсе», – сказал Ю. Жданов. Победители конкурса будут объявлены до 22 ноября с.г.

В свою очередь глава ТПП Е. Примаков отметил, что создание в России ОЭЗ может стать одним из механизмов выполнения задачи удвоения ВВП. В частности, это позволит существенно улучшить инвестиционный климат в стране, увеличить конкурентоспособность российских товаропроизводителей, а также «перестроить депрессивные территории». Е. Примаков отметил, что в существующем законе об ОЭЗ недостаточно хорошо прописаны налоговые льготы.

Напомним, что Федеральный закон «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» был принят Госдумой 8 июля с.г., одобрен Советом Федерации 13 июля и подписан президентом 23 июля. Согласно закону, на территории РФ планируется создать два типа ОЭЗ: промышленно-производственные и технико-внедренческие. Закон предусматривает создание промышленно-производственных зон на территории площадью не более 20 кв. км, технико-внедренческих – на территории площадью не более 2 кв. км. ОЭЗ создаются на 20 лет, их срок существования продлению не подлежит.

На территории ОЭЗ предпринимательскую деятельность могут осуществлять как её резиденты, так и нерезиденты. Особенности налогообложения резидентов

ОЭЗ закрепляются в Налоговом кодексе РФ. Для налогоплательщиков – организаций, имеющих статус резидента промышленно-производственной ОЭЗ, – устанавливается ускоренный порядок признания расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы; снимается 30-% ограничение на перенос убытков на последующие налоговые периоды.

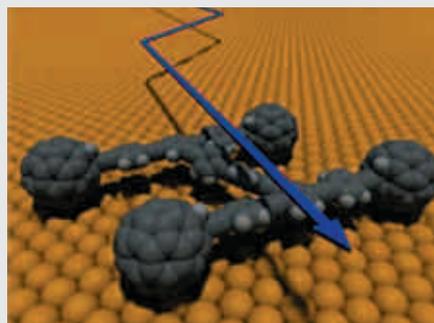
Для резидентов технико-внедренческих зон закон предусматривает пониженную ставку единого социального налога (14% против 26%). На федеральном уровне планируется освобождение резидентов ОЭЗ в течение первых 5 лет от уплаты налога на имущество и земельного налога. Также в них будет действовать режим свободной таможенной зоны, т.е. товары иностранных производителей могут быть ввезены без уплаты импортной пошлины, а товары российских производителей вывезены без уплаты экспортной пошлины. На территории ОЭЗ не могут располагаться транспортные и инженерные сооружения инфраструктуры, принадлежащие юридическим лицам или гражданам.

На территории промышленно-производственных зон предполагается наладить производство товаров с высокой степенью переработки. Также предполагается, что при заключении договора на работу в зоне данного типа инвестиции в первый год должны составить не менее 1 млн., в течение 10 лет (максимальный срок действия договора) – не менее 10 млн. На территории технико-внедренческой зоны намечено создать производство по стимулированию и внедрению разработок продуктов научной деятельности. Ограничений по инвестициям не предусматривается.

<http://www.cnews.ru>

Самый маленький в мире автомобиль ездит по золоту

Сотрудники университета Райса, проводившие исследования под руководством профессора Джеймса Тура, создали самый маленький в мире «авто-



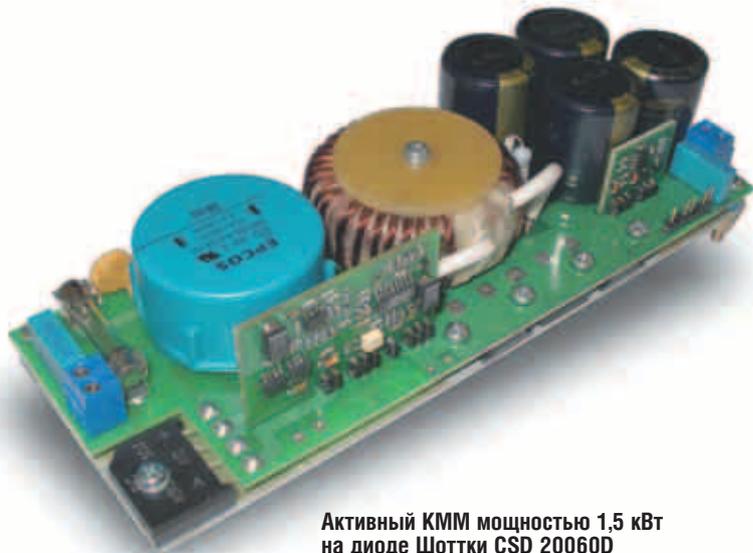
мобиль», рассмотреть который можно только при помощи микроскопа.

Ширина машины составляет всего 4 нм. Для сравнения, человеческий волос имеет диаметр около 80 000 нм. «Автомобиль» состоит из шасси и четырёх колёс, каждое из которых представляет собой фуллерен-60. Фуллерен является третьей формой углерода – после алмаза и графита. Молекула фуллерена строится как минимум из 60 атомов углерода и представляет собой усечённый икосаэдр, составленный из пяти- и шестиугольников. Каждый шестиугольник граничит с тремя другими шестиугольниками и тремя пятиугольниками, тогда как каждый пятиугольник соприкасается только с шестиугольниками. В целом молекула фуллерена напоминает футбольный мяч.

Учёные отмечают, что ранее уже создавались объекты нанометрового размера, напоминающие по форме автомобили. Однако ни один из них не мог функционировать подобно настоящему автомобилю, т.е. катиться на «колёсах» в направлении, перпендикулярном осям. Команде Тура удалось решить данную задачу. Наномашина, состоящая фактически из одной сложной молекулы, передвигается по поверхности золотого кристалла при температуре в 200°C. Причём изображения, полученные при помощи туннельного микроскопа, подтверждают, что «колёса» автомобиля действительно вращаются, а не просто скользят. Не исключено, что в перспективе наномашинки будут использоваться для транспортировки «строительных материалов», необходимых для возведения тех или иных молекулярных конструкций и нанообъектов.

<http://www.terralab.ru>

Полупроводники НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ Практическое применение

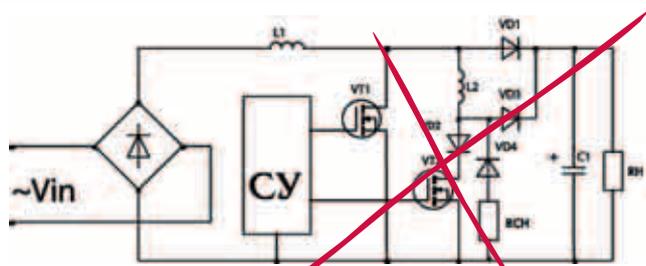


Активный КММ мощностью 1,5 кВт
на диоде Шоттки CSD 20060D

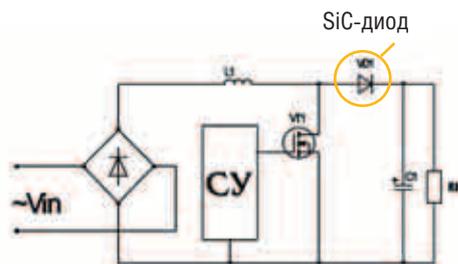
ПРИМЕНЕНИЕ SiC-ДИОДОВ ШОТКИ ПОЗВОЛЯЕТ

- Снизить потери в диоде и ключевом транзисторе в 2 раза
- Уменьшить количество силовых электронных компонентов в 3 раза
- Увеличить надёжность
- Повысить частоту преобразования, снизить массу и габариты
- Получить выигрыш в стоимости и эффективности одновременно

Подробную информацию об этой разработке вы найдёте на сайте официального дистрибьютора компании CREE — www.prochip.ru



Традиционное решение с ZVS
на базе контроллера UC 3855 (Unitrode)



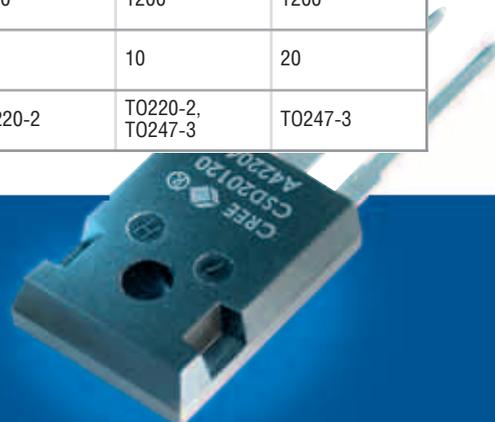
Решение с диодом SiC и контроллером
промышленного стандарта LT 1248 (Linear Technology)

Характеристики высоковольтных диодов Шоттки фирмы Cree

Наименование	CSD04060A CSD04060D CSD04060E	CSD06060A CSD06060D CSD06060G	CSD10060A CSD10060D CSD10060E	CSD20060D	CSD05120A	CSD10120A CSD10120D	CSD20120D
$U_{\text{макс}}$, В	600	600	600	600	1200	1200	1200
$I_{\text{пост}}$, А	4	6	10	20	5	10	20
Типы корпусов	TO252, TO220-2, TO220-3	TO263, TO220-2, TO220-3	TO263, TO220-2, TO220-3	TO247-3	TO220-2	TO220-2, TO247-3	TO247-3

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Активные корректоры коэффициента мощности — снижение динамических потерь в ключевом транзисторе и диоде до 60%
- Антипараллельные диоды MOSFET- и IGBT-транзисторов и модулей для жёсткого переключения — снижение динамических потерь на 20...30%
- Мощные высоковольтные выпрямители для частот до единиц мегагерц



Высоковольтные 300...1200 В ZeroRecovery™ диоды Шоттки на основе карбида кремния компании Cree

ПРОСОФТ – официальный дистрибьютор компании **CREE** в России и странах СНГ

PROSOFT®

ПРОСОФТ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Тел.: (095) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru • www.cree.ru

© СТА-ПРЕСС