



"Просто и доступно" - серия книг, которую с интересом читают и профессионалы, и радиолюбители

■ [Вернуться к теме](#)

Резонансный преобразователь с глубокой регулировкой напряжения

Дополнение к книге

"Силовая электроника: от простого к сложному"

М. "Солон-пресс", 2005 г.



Эта статья была подготовлена на основе материалов, присланных **Александром Германовичем Семеновым**, директором научно-производственного российско-молдавского предприятия "**Элкон**", г.Кишинев. В подготовке статьи также участвовал главный инженер предприятия **Александр Анатольевич Пенин**. Александр Германович пишет: "Специализируясь в области источников питания, нам удалось создать способ построения резонансных преобразователей с глубокой регулировкой выходных параметров, отличающийся от известных до сих пор. На данный способ получен международный патент. Наиболее полно преимущества способа проявляются при построении мощных - от 500 и до десятков киловатт - источников. Преобразователь не требует схем быстрой защиты от КЗ на выходе так как в нем практически не возникает режима разрыва тока ключей в любом режиме. Также устранена возможность возникновения сквозных токов. Поскольку физически (без обратных связей) преобразователь является источником тока, то появилась возможность перенести конденсатор фильтра питающего сетевого выпрямителя на выход преобразователя, что позволило получить коэффициент мощности на уровне 0.92-0.96 в зависимости от нагрузки. Частота резонансного контура не меняется, а это дает возможность эффективной фильтрации излучений преобразователя по всем направлениям. Практическая реализация осуществлена в виде источников тока для электрохимзащиты - станций катодной защиты марки "Элкон". Мощность 600, 1500, 3000 и 5000 ватт. КПД в номинальном режиме на уровне 0.93-0.95. СКЗ прошли

сертификационные испытания в НПО "ВЗЛЕТ". Идет медленное, тягучее внедрение. Все это подтверждает жизнеспособность идеи. Однако, как мне кажется, для достижения коммерческого успеха необходима популяризация идеи с целью привлечения к ней внимания".

Что ж, помочь коллегам всегда приятно, тем более, что идея, заложенная в основу продукции "Элкон", отличается новизной.

* * *

В настоящее время приборы и устройства силовой электроники, разрабатываемые для профессионального применения, активно оптимизируют по таким критериям, как масса, габариты, коэффициент полезного действия, надежность, стоимость. Эти требования неуклонно ужесточаются, то есть заказчик хочет иметь прибор с минимальными габаритами и массой, и при этом - с высоким КПД, высокой надежностью и низкой стоимостью [1].

С целью улучшения потребительских свойств изделий приходится прибегать к известным мерам: повышать рабочие частоты преобразования, уменьшать потери мощности на силовых элементах, снижать или исключать динамические перегрузки в силовой части схемы. Зачастую эти меры противоречат друг другу, и для достижения определенных результатов разработчик идет на некоторый, порой весьма непростой, компромисс [2]. Поэтому дальнейшая оптимизация параметров преобразовательной техники возможна только с помощью перехода на новые принципы построения этих устройств.

Чтобы понять, принципиально чем отличается способ регулирования напряжения, предлагаемый "Элкон", какая новизна заключена в нем, вначале поговорим о традиционном построении регуляторов. Преобразователи постоянного напряжения (DC/DC преобразователи), являющиеся значительным по объему классом устройств из области силовой электроники, традиционно строятся по следующей схеме: первичное звено осуществляет преобразование постоянного напряжения в переменное высокой частоты; вторичное звено осуществляет преобразование переменного напряжения в постоянное. В составе преобразователя обычно имеется регулятор, управляющий величиной выходного постоянного напряжения или поддерживающий его на требуемом уровне.

Высокочастотное преобразование может осуществляться при помощи различных схем, но если говорить о двухтактных схемах, то здесь можно назвать два типа: схемы с прямоугольной формой тока силовых ключей [3] и резонансные с синусоидальной (или квазисинусоидальной) формой тока ключей.

Эффективность работы преобразователей в значительной степени определяется динамическими коммутационными потерями на силовых элементах при коммутации рабочих значений токов. Опыт разработки преобразователей мощностью более 100 Вт показывает, что снизить эти потери удастся в основном за счет использования коммутационных элементов (транзисторов) с низким временем переключения и за счет формирования правильной траектории их переключения. Существующая на сегодняшний момент элементная база, конечно, обладает достаточно высокими динамическими характеристиками, но, тем не менее, они еще далеки от идеальных. Поэтому часто технологические ограничения приводят к значительным перенапряжениям на элементах силовой схемы, а значит, снижается общая надежность преобразователя [4].

Формирование правильной траектории переключения - немаловажная задача, которая также в значительной степени может снизить коммутационные перенапряжения. Этот метод обеспечивает так называемую "мягкую" коммутацию путем

перераспределения энергии между собственно силовой частью коммутационного элемента (транзисторного ключа) и формирующим элементом. Уменьшение потерь происходит за счет возврата накопленной ими энергии [5]. Напомним, что известными представителями формирующих элементов являются всевозможные RCD-цепи, гасящие резисторы, снабберы и т.д.

Практика разработки реальных преобразователей показывает, что при создании устройства с номинальной мощностью сотни-тысячи ватт приходится буквально "даться" за каждый ватт эффективной мощности, в максимальной степени снижать тепловые потери, снижающие общий КПД преобразователя.

Еще одна проблема относится к необходимости наличия быстродействующей защиты от короткого замыкания (КЗ) в нагрузке. Проблема состоит, главным образом, в том, что слишком быстродействующая защита становится слишком подверженной ложным срабатываниям, отключая преобразователь даже тогда, когда никакой опасности для него не возникает. Слишком медленная защита устойчива к ложным срабатываниям, но едва ли защитит прибор. Приходится тратить немало усилий на проектирование оптимальной защиты.

В связи с вышеизложенным, классический высокочастотный преобразователь оказывается не совсем отвечающим современным требованиям, предъявляемым к силовой преобразовательной технике. Возникает необходимость поиска новых способов построения этих приборов.

В последнее время инженеры обратили внимание на резонансные преобразователи, как на устройства с большими потенциальными возможностями. В резонансных преобразователях принципиально меньше динамические потери, они создают гораздо меньше помех, поскольку переключение происходит не прямыми фронтами, богатыми гармониками, а с гладкой формой сигнала, близкой к синусоидальной [4], [6]. Резонансные преобразователи более надежны, им не требуется быстродействующая защита от короткого замыкания (КЗ) в нагрузке, потому как ограничение тока КЗ происходит естественным образом. Правда, из-за синусоидальной формы тока несколько возрастают статические потери в силовых элементах, но поскольку резонансные преобразователи не столь требовательны к динамике переключения силовых элементов, могут быть использованы IGBT транзисторы standard-класса, у которых напряжение насыщения меньше, чем у *warp-speed* IGBT-транзисторов. Можно вспомнить и о СИТ-транзисторах и даже о биполярных, хотя, на взгляд автора сайта, о последних лучше в данном контексте не вспоминать.

С точки зрения построения силовой схемы резонансные преобразователи получаются простыми и надежными. Однако до сих пор они не смогли вытеснить обычные полумостовые и мостовые преобразователи из-за принципиальных проблем с регулированием выходного напряжения [3]. Обычные преобразователи используют принцип регулирования на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ), и здесь не возникает никаких сложностей. В резонансных же преобразователях использование ШИМ и других специальных методов (например, частотного регулирования за счет изменения частоты коммутации) приводит к увеличению динамических потерь, которые в некоторых случаях становятся соразмеримыми или даже превышающими потери в классических преобразователях. Использование же формирующих цепей оправдывает себя в ограниченном диапазоне частот и при очень небольшой глубине регулирования. Встречается несколько более эффективный способ, основанный на значительном уменьшении частоты коммутации, приводящей к уменьшению среднего тока нагрузки, а значит, и выходной мощности. Но этот способ частотного регулирования также можно назвать компромиссным, а значит, недостаточно удовлетворяющим современным требованиям [8].

И все же резонансные преобразователи оказались настолько заманчивыми, что было придумано еще несколько способов повысить их КПД и глубину регулирования. Увы, и эти идеи показали себя недостаточно эффективными. Использование дополнительного импульсного регулятора, устанавливаемого на выходе, приводит к необходимости использования еще одного звена преобразования, а значит, снижает КПД [8]. Конструкция с переключением витков трансформатора опять-таки значительно усложняет преобразователь, повышает его стоимость и делает невозможным использование в областях широкого потребления.

Из сказанного можно сделать вывод, что основная проблема, мешающая широкому распространению резонансных преобразователей, кроется в создании эффективного способа глубокого регулирования выходного напряжения. Если эта проблема будет решена, удастся значительно улучшить характеристики устройств силовой электроники, их дальнейшему распространению в уже освоенные и новые области применения преобразовательной техники.

Специалистам предприятия "Элкон" удалось в значительной степени продвинуться в исследованиях способа регулирования путем уменьшения частоты коммутации. Именно данный способ был взят за основу, так как в нем сохраняется основное достоинство резонансной схемы - коммутационные переключения при нулевом токе. Изучение процессов, происходящих в обычном резонансном преобразователе, позволило уточнить его схему и найти более эффективный механизм регулирования в широком диапазоне нагрузок и приемлемом диапазоне частот, что составило основу международного патента [10]. Помимо этого удалось достигнуть одинаковой амплитуды токов силовых транзисторов как в режиме номинальной нагрузки, так и в режиме КЗ, отсутствия сквозных токов через силовые транзисторы даже на максимальной частоте коммутации, "мягкой" нагрузочной характеристики (гораздо лучше, чем у обычного резонансного преобразователя).

Полная схема модернизированного резонансного преобразователя является предметом "ноу-хау" предприятия "Элкон", однако, чтобы читателю было понятно, в чем заключается усовершенствование, далее приводятся сведения из патента "Способ регулируемого резонансного преобразования постоянного напряжения".

Изобретение предназначается для реализации мощных, дешевых и эффективных регулируемых высокочастотных транзисторных резонансных преобразователей напряжения различного применения. Это могут быть сварочные преобразователи, установки индукционного нагрева, радиопередающие устройства и другое.

Имеется прототип регулируемого резонансного преобразователя напряжения, опубликованный в [2]. В прототипе: создается колебание с собственным периодом T_0 и периодом коммутации силовых ключей T_k ; используется емкостной и индуктивный накопители энергии с потреблением от источника постоянного напряжения и передачи части энергии в нагрузку с выпрямителем; регулирование напряжения осуществляется за счет расстройки от резонанса с периодом собственных колебаний T_0 частоты коммутации ключей T_k , близкой к T_0 .

Как уже было сказано выше, расстройка приводит к значительному увеличению динамических потерь и в целом снижает надежность преобразователя, так как при расстройке утрачивается главное достоинство резонансного преобразователя -

коммутация при нулевых токах. Все это приводит к тому, что способ [2] целесообразно использовать только в маломощных преобразователях.

Имеется более близкий прототип, опубликованный в работе [9]. В данном прототипе также создается колебание с собственным периодом T_0 и периодом коммутации ключей T_k , но $T_k > T_0$; используется емкостной и индуктивный накопители энергии с потреблением от источника постоянного напряжения и передаче части энергии в нагрузку с выпрямителем; выходное напряжения регулируется за счет изменения периода коммутации T_k . Однако здесь избыток энергии емкостного накопителя возвращается обратно в источник питания за счет разряда емкостного накопителя через нагрузку, а ограничение фронта импульсов тока силовых ключей осуществляется с помощью дополнительных индуктивных накопителей. Этот способ сохраняет главное достоинство резонансного преобразователя - возможность коммутации силовых ключей при нулевых токах.

К сожалению, этот прототип также обладает рядом недостатков. Одним из принципиальных недостатков является увеличение тока ключей в случае возникновения перегрузок или КЗ в цепи нагрузки при номинальной или максимальной частоте. Так как в этом случае индуктивные элементы запасают большое количество энергии, она не успевает полностью вернуться в источник питания за небольшой период $(T_k - T_0)/2$. Еще один недостаток - принудительное обрывание тока через ключи несмотря на то, что фронт коммутации задан. Здесь возникает необходимость наличия сложной защиты ключевых элементов, сужает общий диапазон регулирования напряжения, что ведет к сужению области применения преобразователя.

Устройство, с помощью которого можно реализовать данный способ, представляет собой обычный резонансный полумостовой преобразователь с емкостным делителем напряжения (емкостным накопителем) и индуктивным накопителем, включенных с нагрузкой между стойкой транзисторов полумоста и средним выводом емкостного делителя. Дополнительные индуктивные накопители включаются в ветви или в контура каждого ключевого элемента.

Устройство, предложенное предприятием "Элкон", решает задачу обеспечения большого диапазона регулирования напряжения нагрузки и, таким образом, расширяет область его применения. В новом способе можно найти некоторые аналогии с прототипами [2] и [9]: создаются колебания с собственным периодом T_0 и периодом коммутации T_k , причем $T_k > T_0$, также используются емкостной и индуктивный накопитель с потреблением от источника постоянного напряжения и передаче части энергии в нагрузку с выпрямителем, также осуществляется возврат избытка энергии емкостного накопителя обратно в источник, регулировка напряжения осуществляется за счет изменения T_k . Новизна способа состоит в том, что одновременно с первыми колебаниями создаются вторые колебания с собственным периодом T_0 и периодом коммутации T_k , с использованием того же емкостного накопителя и второго индуктивного накопителя с потреблением энергии от емкостного накопителя и передачей энергии в нагрузку с выпрямителем.

Главной особенностью предложенного способа является одновременное протекание токов первого и второго колебаний через ключевые элементы таким образом, что суммарный ток через них не терпит разрыва, что и позволяет возвращать энергию индуктивных накопителей на максимальной частоте даже при возникновении КЗ. При этом амплитуда тока ключевых элементов остается на уровне номинальных значений. Этот способ "работает" во всем диапазоне периодов коммутации T_k , что успешно решает проблему резонансного преобразователя.

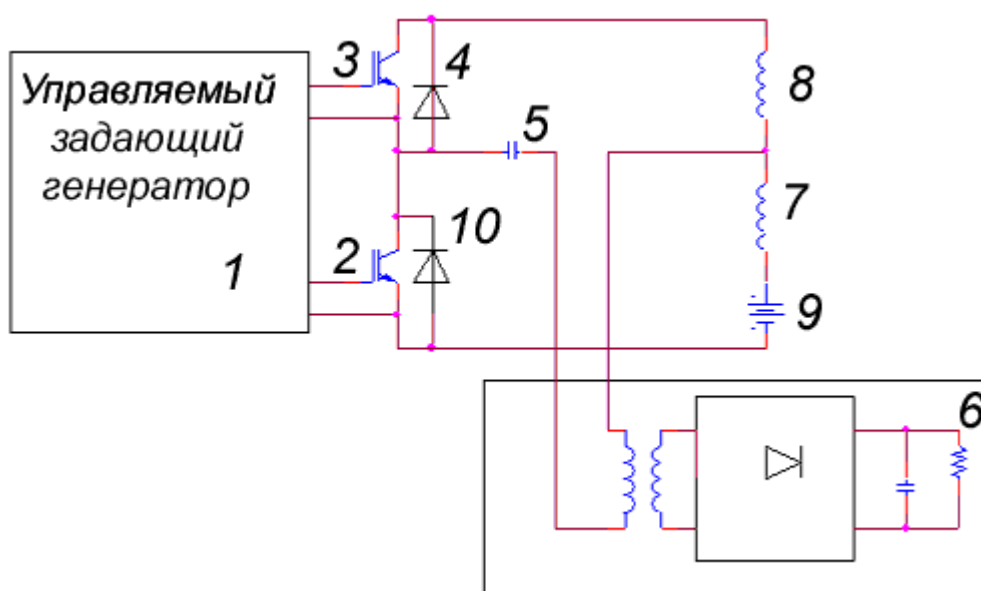


рисунок 1
Общий вид силовой схемы устройства

Устройство, показанное на **рисунке 1**, содержит управляемый задающий генератор импульсов (1), выходы которого соединены с затворами транзисторов (2) и (3), образующими полумостовую стойку (плечо полумоста). Общая точка соединения транзисторов (2) и (3) через емкостной накопитель (резонансный конденсатор), обозначенный (5), подключена к одному из выводов трансформаторно-выпрямительной нагрузки (6). Индуктивные накопители (резонансные дроссели), обозначенные (7) и (8), соединены последовательно. Их общая точка соединения подключена к другому выводу нагрузки (6). Источник питающего напряжения (9) соединен с нижним выводов дросселя (7) и эмиттером транзистора (2). Верхний вывод дросселя (8) соединен с коллектором транзистора (3).

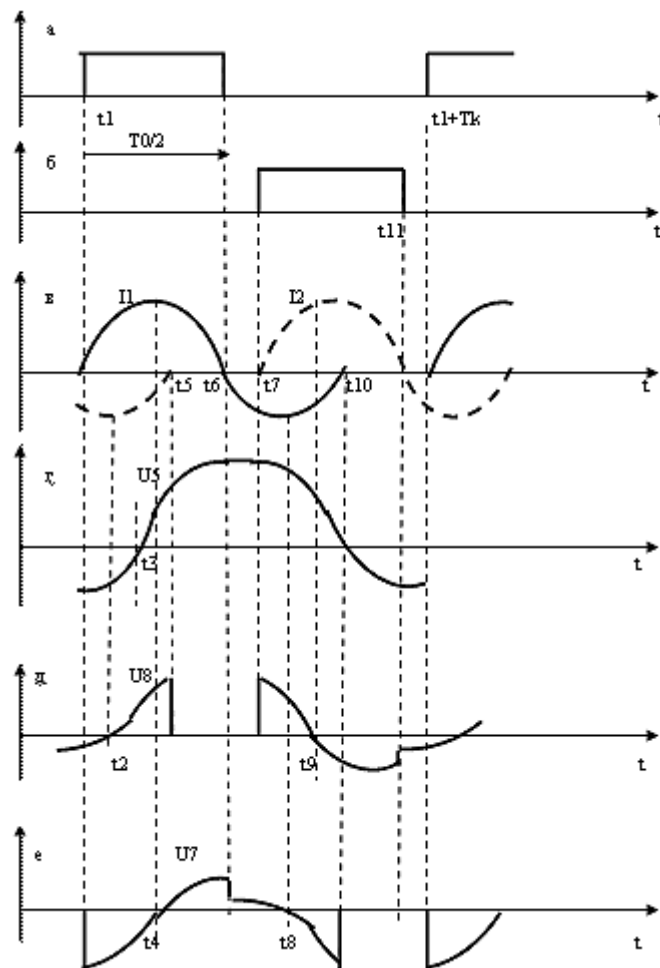


рисунок 2
Графики, отражающие работу преобразователя

На **рисунке 2** показаны графики, отражающие работу этого резонансного преобразователя. Задающий генератор (1) вырабатывает парафазные управляющие импульсы, показанные на **рис.2 а-б**, длительностью $T_0/2$ и регулируемым периодом коммутации T_k , которые по очереди открывают транзисторы (2) и (3). В установившемся режиме работы преобразователя, в момент времени t_1 подается импульс управления на транзистор (2), при этом через него начинает протекать синусоидальный импульс тока I_1 , показанный на **рис.2 в**, - так называемые "первые колебания". Одновременно с ним через антипараллельный (оппозитный) диод (4) транзистора (3) продолжает протекать ток I_2 - "вторые колебания".

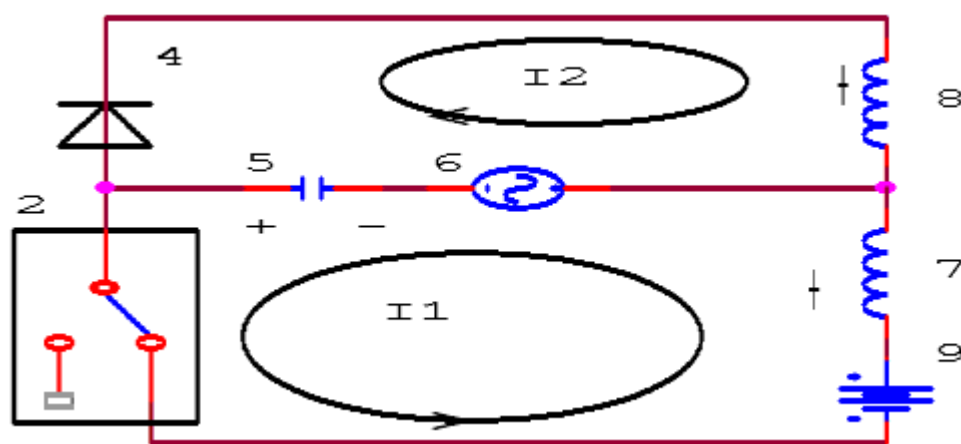


рисунок 3
Первый такт работы схемы

На **рисунке 3** показан первый такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке $(t_1 \dots t_2)$. Резонансный конденсатор (5) с напряжением U_5 , график которого приведен на **рис.2 г**, перезаряжается через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6), включающую трансформатор (6.1), выпрямитель (6.2) и собственно нагрузку (6.3). Первый резонансный дроссель (7) накапливает энергию. В то же время резонансный конденсатор (5) разряжается через второй резонансный дроссель (8) с напряжением U_8 , график которого приведен на **рис.2 д**. Дроссель (8) накапливает энергию в соответствии с полярностью, указанной на графике.

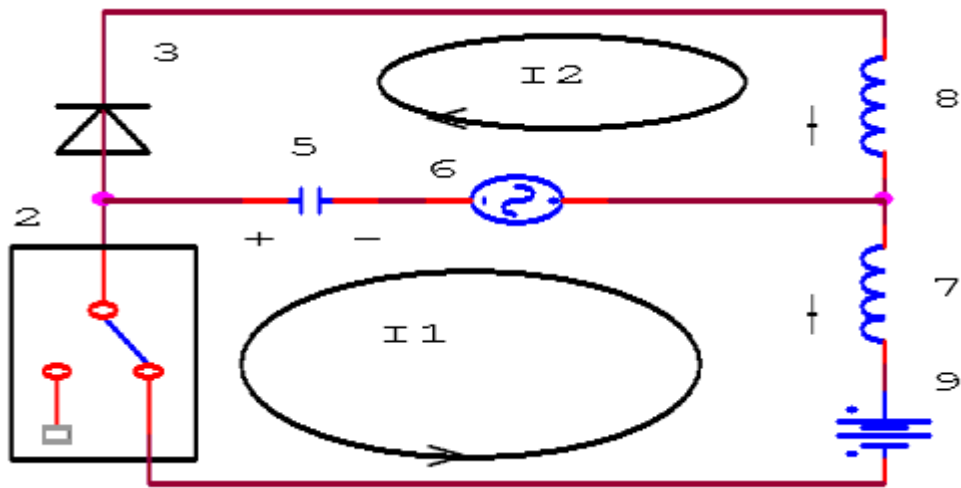


рисунок 4
Второй такт работы схемы

На **рисунке 4** показан второй такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_2 \dots t_3$). Резонансный конденсатор (5) продолжает перезаряжаться через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) и первый резонансный дроссель (7). Также резонансный конденсатор (5) перезаряжается через второй резонансный дроссель (8), который уже отдает энергию в соответствии с указанной полярностью.

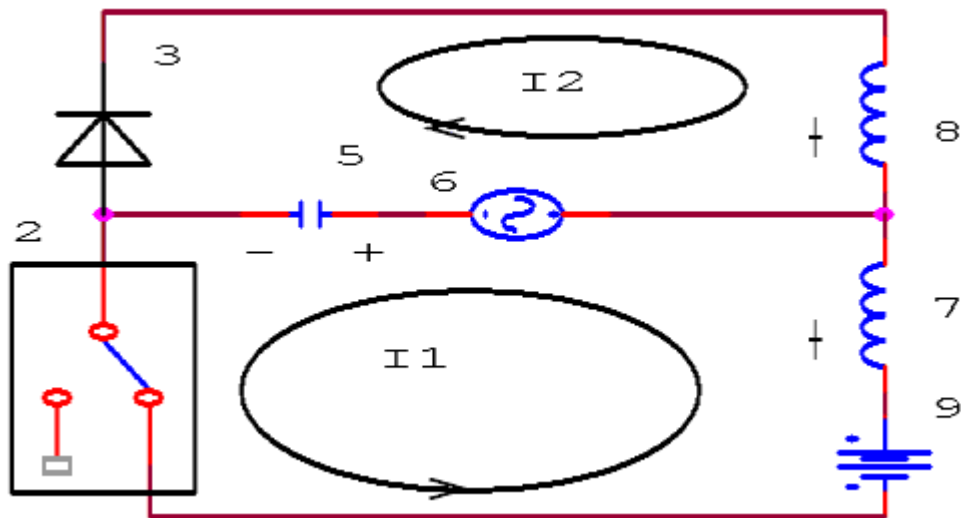


рисунок 5
Третий такт работы схемы

На **рисунке 5** показан третий такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_3 \dots t_4$). Резонансный конденсатор (5) продолжает заряжаться через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) и первый резонансный дроссель (7) с напряжением U_7 , показанным на графике **рис.2 е**. В то же время резонансный конденсатор (5) уже заряжается от второго резонансного дросселя (8), который продолжает отдавать энергию в соответствии с указанной полярностью.

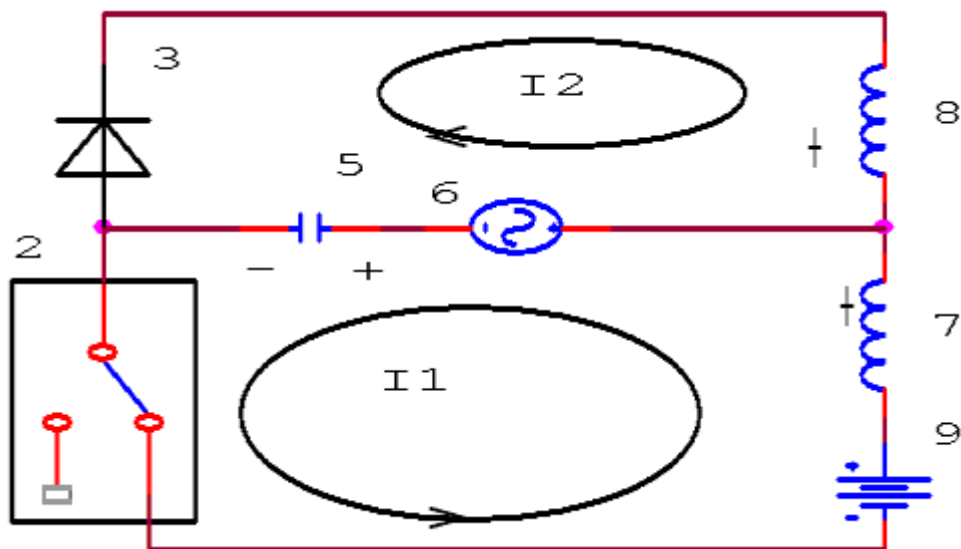


рисунок 6
Четвертый такт работы схемы

На **рисунке 6** показан четвертый такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_4 \dots t_5$). Резонансный конденсатор (5) продолжает заряжаться через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) и первый резонансный дроссель (7), который уже отдает энергию в соответствии с указанной на рисунке полярностью. В то же время резонансный конденсатор (5) продолжает заряжаться от второго резонансного дросселя (8).

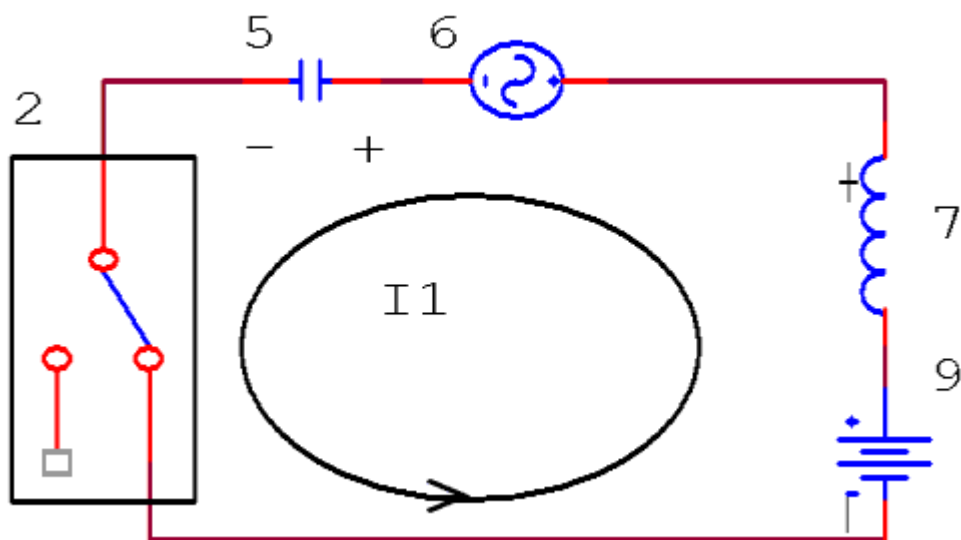


рисунок 7
Пятый такт работы схемы

На **рисунке 7** показан пятый такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_5 \dots t_6$). Резонансный конденсатор (5) продолжает заряжаться через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) и первый резонансный дроссель (7).

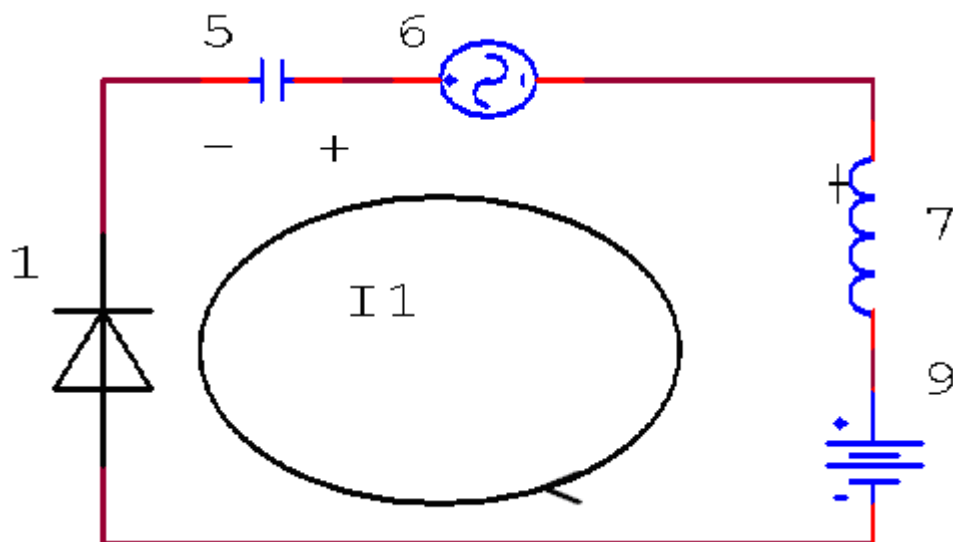


рисунок 8
Шестой такт работы схемы

На **рисунке 8** показан шестой такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_6 \dots t_7$). Резонансный конденсатор (5) уже отдает энергию через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) и первый резонансный дроссель (7) в источник питания (9). Ток I_1 при этом меняет свое направление.

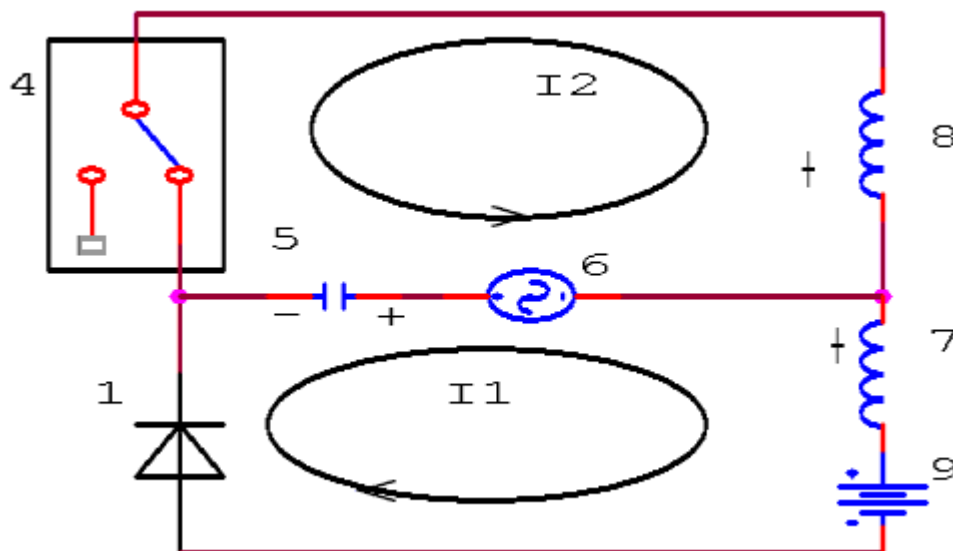


рисунок 9
Седьмой такт работы схемы

На **рисунке 9** показан седьмой такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_7 \dots t_8$). Импульс управления подается на транзистор (3), при этом начинает протекать синусоидальный импульс тока I_2 согласно **рис.2 в**, через этот транзистор ("второе колебание"). Также продолжает протекать ток I_1 через антипараллельный диод (10) транзистора (2) - "первое колебание". Резонансный конденсатор (5) отдает энергию через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) и первый резонансный дроссель (7) - в источник питающего напряжения (9) и во второй резонансный дроссель (8).

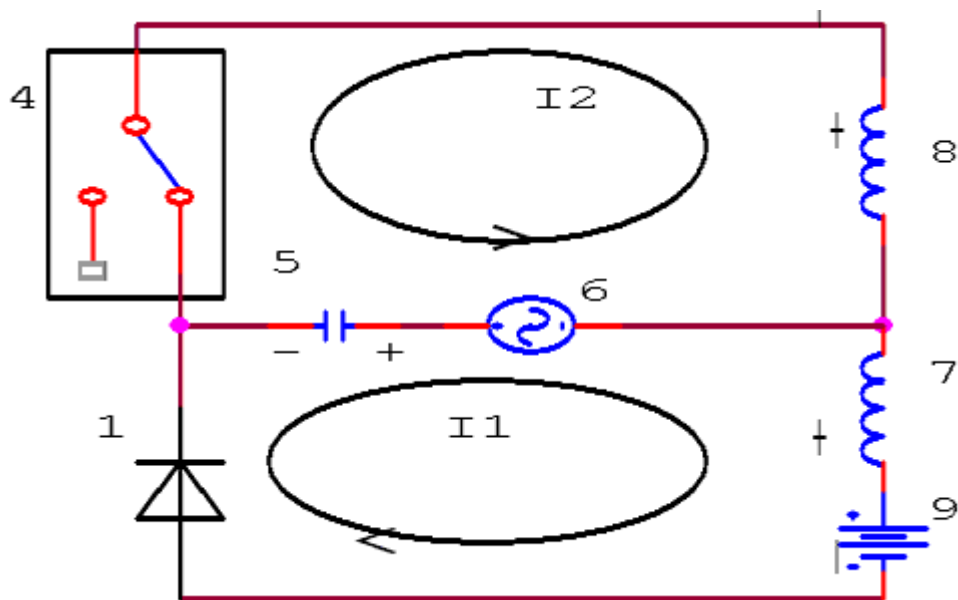


рисунок 10
Восьмой такт работы схемы

На **рисунке 10** показан восьмой такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_8 \dots t_9$). Резонансный конденсатор (5) и первый резонансный дроссель (7) отдают энергию через трансформаторно-выпрямительную нагрузку (6) в источник питающего напряжения (9), а резонансный конденсатор (5) отдает энергию еще и во второй резонансный дроссель (8).

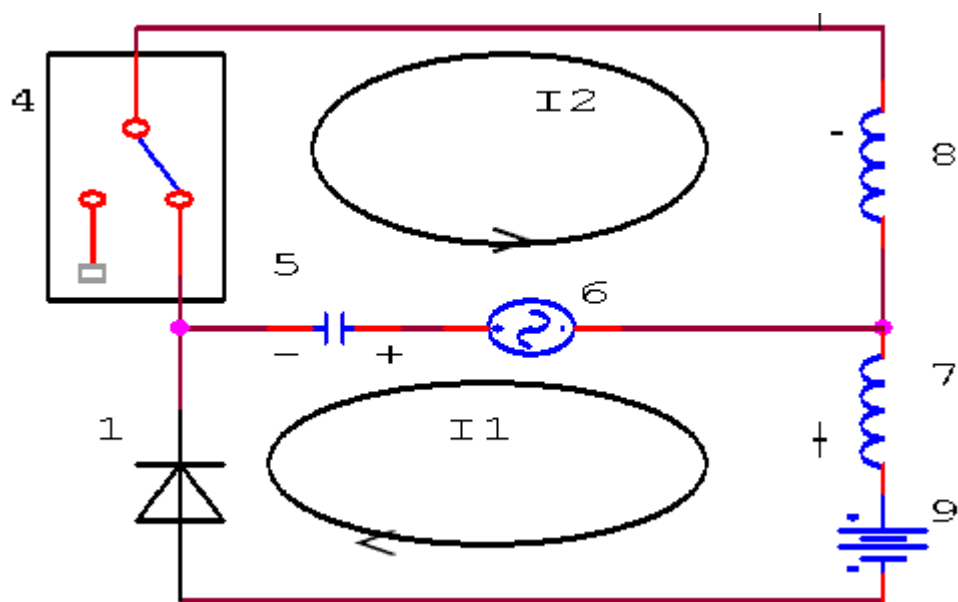


рисунок 11
Девятый такт работы схемы

На **рисунке 11** показан девятый такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_9 \dots t_{10}$). Все накопители отдают свою энергию.

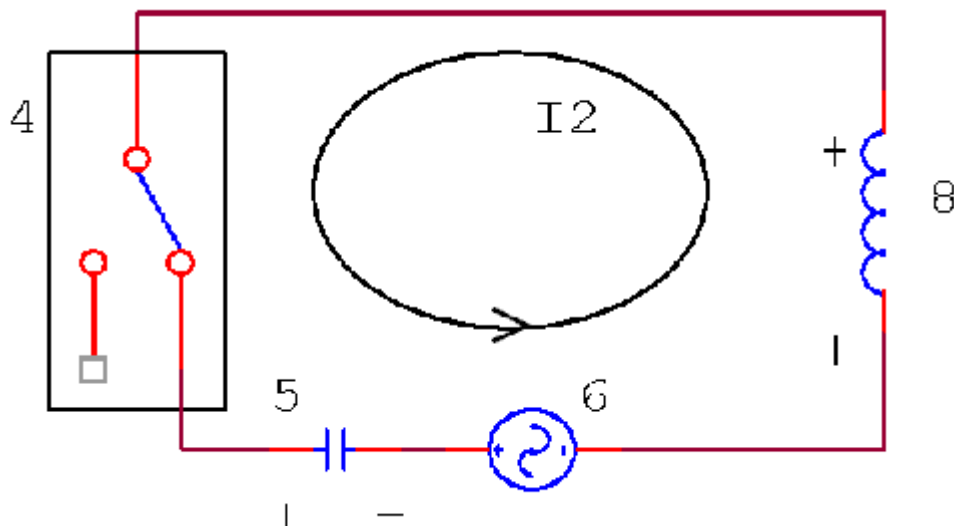


рисунок 12
Десятый такт работы схемы

На **рисунке 12** показан десятый такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_{10} \dots t_{11}$). Идет перезаряд резонансного конденсатора (5) за счет энергии второго резонансного дросселя (8).

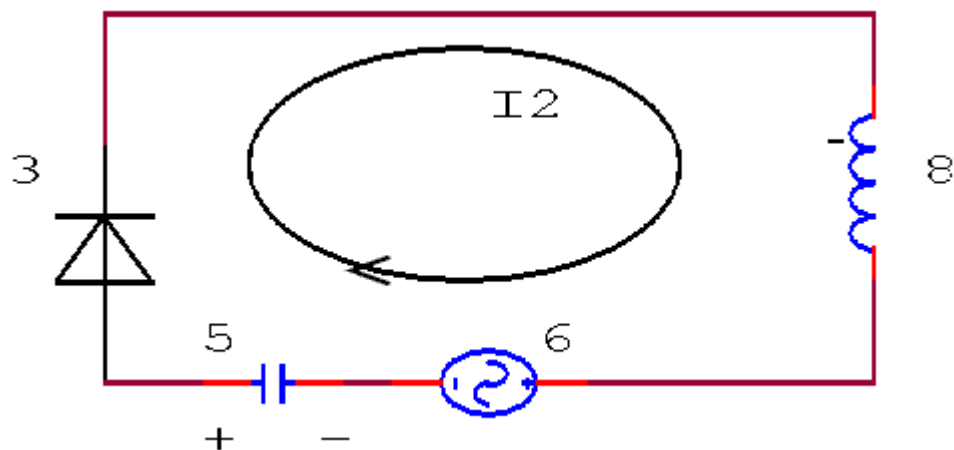
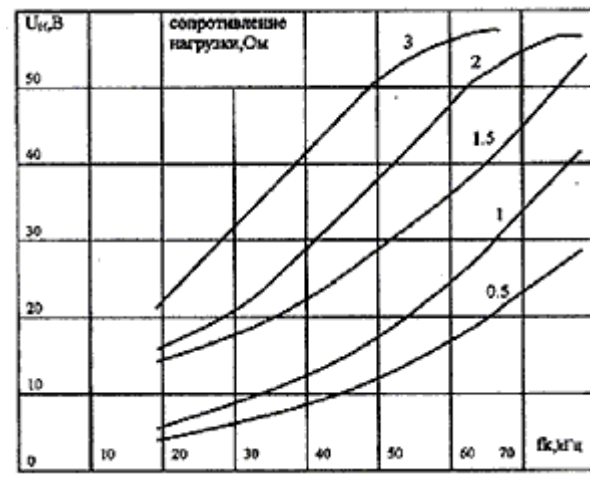


рисунок 13
Заключительный такт работы схемы

На **рисунке 13** показан заключительный такт работы схемы, отражающий ее поведение в промежутке ($t_{11} \dots t_1$). Идет разряд резонансного конденсатора (5), далее процессы повторяются.

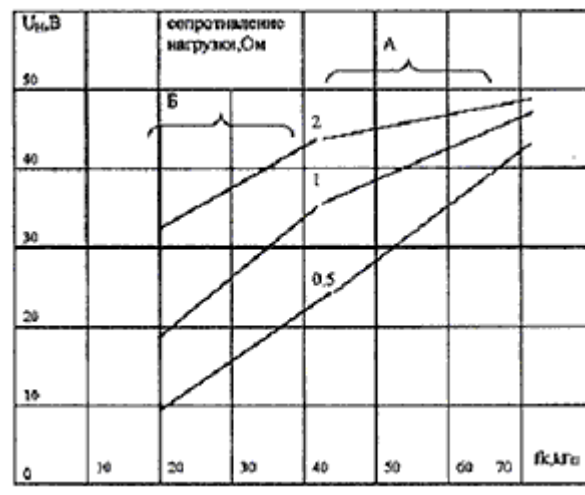
Обратите внимание: на интервале времени $t_6 - t_7$ идет возврат энергии в источник, поскольку ток I_1 меняет свое направление. Отрицательная амплитуда тока I_1 определяется нагрузкой преобразователя. Этот факт определяет дополнительные преимущества способа - амплитуда тока через ключи не увеличивается вплоть до короткого замыкания в нагрузке. Также полностью отсутствует проблема сквозных токов, что упрощает и делает надежным управление транзисторов. Отпадает и проблема создания быстрых защит для предотвращения режима КЗ.

Эта идея была положена в основе опытных образцов, а также серийных изделий, которые в настоящее время производит "Элкон". К примеру, преобразователь напряжения мощностью 1,8 кВт, спроектированный для станции катодной защиты подземных трубопроводов, получает питание от однофазной сети переменного тока 220 В 50 Гц. В нем применены силовые транзисторы IGBT типа IRG4PC30UD класса ultra-fast со встроенным оппозитным диодом, емкость резонансного конденсатора (5) составляет 0,15 мкФ, индуктивность резонансных дросселей (7) и (8) - по 25 мкГн. Период собственных колебаний T_0 составляет 12 мкс, коэффициент трансформации трансформатора (6.1) - 0,5, что определяет диапазон номинальной нагрузки (0,8...2,0) Ом. Для минимального значения периода коммутации T_k , равного 13 мкс (при частоте коммутации f_k равной 77 кГц) и нагрузке 1 Ом амплитуды токов I_1 и I_2 соответственно составляют плюс 29 А и минус 7 А. Для нагрузки 0,5 Ом амплитуды токов I_1 и I_2 составили соответственно плюс 29 А и минус 14 А. В случае КЗ эти значения составляют плюс 29 А и минус 21 А, средний ток через нагрузку составляет 50 А, то есть проявляется эффект ограничения тока КЗ.



рисунк 14
Регулировочные характеристики преобразователя "Элкон"

На **рисунке 14** показано семейство регулировочных характеристик преобразователя. Важно отметить, что во всем диапазоне частоты коммутации переключающие импульсы подаются при нуле токов. Эти результаты были получены в системе схемотехнического моделирования OrCAD 9.1, затем проверены на натурном макете.



рисунк 15
Регулировочные характеристики обычного преобразователя

Для сравнения, на **рисунке 15** представлено семейство регулировочных характеристик аналогичного по мощности классического резонансного преобразователя. Минимальный период коммутации T_k увеличен из-за возникновения сквозных токов и составляет 14 мкс (при частоте коммутации f_k равной 72 кГц). Для этой номинальной частоты выполняется режим коммутации в нуле тока. Для сопротивления нагрузки 1 Ом амплитуда тока нагрузки равна 30А, для сопротивления 0.5 Ом амплитуда равна уже 58А. В случае КЗ амплитуда тока через транзисторы становится более 100 А, причем коммутация силовых транзисторов происходит уже не в нуле токов, а средний ток нагрузки становится более 180 А. Таким образом, как было указано ранее, возникает необходимость в быстрой защите от КЗ для исключения аварии.

Участок регулирования "А" (тонкие линии) характеризует режим коммутации не в нуле тока. Практический интерес представляет участок регулирования "Б", когда частота коммутации меньше номинальной в два и более раз. Можно отметить, что глубина регулирования указанным способом для классического преобразователя значительно меньше, чем в преобразователе "Элкон", а необходимость работы на более низкой частоте коммутации ухудшает удельные энергетические показатели классического преобразователя. Предлагаемый преобразователь "Элкон" обладает практически приемлемыми регулировочными характеристиками и диапазоном изменения частоты коммутации.

Учитывая мягкую нагрузочную характеристику, возможно регулирование выходного напряжения на фиксированной частоте за счет фазового регулирования двух преобразователей, соединенных параллельно по переменному напряжению. Этот вариант проверен на макете мощностью 1.2 кВт. Выходное напряжение изменяется от нуля до максимального.

Полученные результаты позволяют предположить, что преобразователи напряжения, использующие новый способ резонансного преобразования, найдут более широкое применение во всех областях использования обычных преобразователей с ШИМ регулированием на десятки и более кВт.



рисунок 16
Макет силовой части преобразователя мощностью 3 кВт

А теперь - немного о серийной продукции. Предприятие "Элкон" производит:

- станции катодной защиты мощностью 0,6, 1,5, 3,0 и 5,0 кВт., с КПД в номинальном режиме не хуже 93%;
- источники для ручной дуговой сварки мощностью 5,0 и 8,0 кВт с питанием от сети 220 вольт 50 Гц;
- источники для ручной дуговой сварки мощностью 12 кВт с питанием от трехфазной сети 380 вольт 50 Гц;
- источники для нагрева кузнечных заготовок мощностью 7,0 кВт с питанием от сети 220 вольт 50 Гц;
- преобразователи для высоковольтной солнечной батареи мощностью 5,0 кВт с входным напряжением от 200 до 650 В и выходным напряжением 400 В; при модуляции выходного напряжения преобразователя по синусоидальному закону частотой 100 Гц и последующем распределении полуволн осуществлена передача электроэнергии от солнечной батареи в сеть 220 вольт 50 Гц.

Сотрудники предприятия надеются, что данная идея вдохновит также и опытных радиолюбителей, которые заняты конструированием сварочной техники.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мещеряков В.М. Силовая электроника- эффективный способ решения проблем региональной программы "Энергоресурсосбережения"//Электротехника. 1996. 12.с.1.
- [2] Высокочастотные транзисторные преобразователи./Э.М.Ромаш, Ю.И.Драбович, Н.Н.Юрченко, П.Н.Шевченко -М.:Радио и связь,1988.-288с.
- [3] Гончаров А.Ю. Серийно выпускаемые транзисторные преобразователи электроэнергии // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 1998. 2.с.50.
- [4] Ковалев Ф.И., Флоренцев С.Н. Силовая электроника: вчера, сегодня, завтра //Электротехника. 1997. 11.с.2.
- [5] Дмитриков В.Ф. и др. Новые высокоэффективные отечественные источники электропитания с бестрансформаторным входом // <http://www.add.ru/r/konkurs/st.18.html>
- [6] Патанов Д.А. Общие проблемы снижения коммутационных потерь в инверторах напряжения // <http://www.add.ru/r/konkurs/avtst8.html>
- [7] Жданкин В.К. Устройства силовой электроники фирмы Zicon Electronics // Современные технологии автоматизации. 2001.№1.с.6.
- [8] Белов Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения. -М.: Энергоатомиздат,1987.-120с.
- [9] Патент РСТ, WO94/14230, 23.06.94, H02M 3/335.
- [10] Патент РСТ/MD 03/00001. 16.05.2002, H02M3/337

Что пишут по теме:

Здравствуйте!

Во-первых,хочу поблагодарить за то, что на вашей странице размещена информация по этому преобразователю. Это наиболее подробная из тех, что я смог найти. Как только я прочитал материал, сразу собрал макет устройства (IRG4PC30FD, дроссели по 850мГ, 0,3 мкф), и тут начались беспокойные 3-4 дня. Согласен, что при подаче питания ключи сразу вылетели по моей глупости, тут индуктивность, отсутствие цепочек di/dt, и сигнал управления не был подан перед подачей силы. Осциллограммы получились такие же, как в статье. В принципе, даже нагрузку я подключал ватт 50 на "вторичку" и всё работало. Но осциллограммы все четко промодулированы гармониками ~50кГц (для моей частоты 10кГц). А паузы "мертвого" времени особенно. Далее - на емкости наблюдаются игольчатые всплески напряжения до 2,5...3 раз превышающие амплитуду синусоиды. Далее - на коллекторе IGBT эти 50 кГц имеются всегда, когда он закрыт, причем так явно, как в учебнике. Я ставил снабберы, ситуация улучшалась, но незначительно. Я понимаю, что сейчас перечислять всё это не особо важно, так как если Вы пробовали эту схему (а Вы не могли не попробовать), то все знаете сами. Как "Элкон" реализовал схемное решение?

Strimmer

Уважаемый Strimmer!

Очень рад, что вас заинтересовала идея, предложенная "Элкон". Скажу честно - эту схему я не пробовал. Более того, все права на это изобретение принадлежат ее авторам. Поэтому максимум, что можно ответить - обратиться за консультацией к авторам.

Здравствуйте!

Случайно заглянул на ваш сайт и увидел письмо от Strimmer-а по поводу нашего преобразователя. На мощностях до 300-500 ватт трудно учесть паразитные емкости монтажа и собственные емкости силовых ключей. Образуется колебательный контур из этих емкостей и дополнительных индуктивностей. Для малых мощностей мы с успехом применяем классический резонансный преобразователь с частотой коммутации не превышающей половины частоты резонансного контура. Он в этом случае работает тоже с возвратом энергии и не боится КЗ и ХХ.

А.Г.Семенов, "Элкон"

Здравствуйте!

Распечатал отцу опубликованную на вашем сайте статью про квазирезонансные преобразователи. Он решил изготовить, лет пять назад пытался ими заниматься, но тогда дело почему-то заглохло. Два дня он мучился, потом от увиденного пришел в состояние изумления и меня увлек. Общими усилиями добились снятия с аккумулятора на 12 вольт мощности 50 ватт и напряжения 450-500 вольт (нагрузка - лампочки). Частоту преобразования выбрали 90 кГц. Что изумляет, так это то, что транзисторы вообще холодные. Осциллограф показывает преклоение транзисторов в моменты, когда нуль напряжения и тока приложены к ним - просто как в сказке! Получить большую мощность почему-то не получается. Очень завораживает фотка киловаттных преобразователей в статье. Я пришел к выводу, что сие "преобразующее устройство" весьма сложно - то есть упрощенное описание принципа не отражает физики всех процессов. Как бы узнать, что там на самом деле?

Чернов Сергей aka Klen

Уважаемый Сергей!

Попробуйте написать письмо авторам патента (к "Элкону") - может быть, поделится идеей, хотя это их так называемый "хлеб", "ноу-хау". Предложите что-нибудь на обмен. Взаимовыгодный обмен идеями - говорят, сегодня это модно.