

НОВЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ГЛУБОКОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ

А.Пенин, А.Семенов

На фирме “Элкон” разработан резонансный преобразователь напряжения с глубокой регулировкой выходного напряжения. Отсутствие сквозных токов и динамических перегрузок делает его высоконадежным и экономичным.

Развитие устройств силовой электроники идет при постоянно растущих требованиях к основным характеристикам преобразователей электроэнергии (в том числе предусмотренных различными программами по сбережению энергетических ресурсов и сырья [1]) – массе, габаритам, КПД, надежности и стоимости. Как правило, эти требования удовлетворяются за счет повышения рабочих частот, снижения потерь, уменьшения или исключения динамических перегрузок, оптимального использования свойств элементов схемы преобразователя. Однако при стремлении получить заданные значения характеристик эти способы часто противоречат друг другу, и для конкретного оборудования приходится искать компромиссное решение [2].

В высокочастотных преобразователях постоянного напряжения (DC/DC), как известно, осуществляются процессы:

- преобразование постоянного напряжения в переменное высокочастотное, а затем в постоянное;
- регулирование значения выходного постоянного напряжения.

Для преобразования напряжения используются в основном два типа двухтактных схем – обычные (с прямоугольной формой токов силовых ключей) [3] и резонансные (с синусоидальной формой тока силовых ключей).

Эффективность обычных схем определяется динамическими потерями за счет коммутации рабочих токов. Для их снижения в преобразователях мощностью выше 100 Вт используются быстродействующие транзисторы или применяется формирование оптимальной траектории переключения. Первый метод уже достиг физических и технологических ограничений и может привести к значительным перенапряжениям на элементах схемы, что снижает надежность преобразователя [4]. Второй метод дополняет первый и обеспечивает “мягкую” коммутацию путем перераспределения мощности между транзистором и формирующими цепями. Потери снижаются за счет возврата накопленной этими цепями энергии [5].

Практика показала, что разработка и производство обычных преобразователей с высокими характеристиками – серьезная задача, так как при уровне мощности в сотни ватт–единицы киловатт приходится бороться за каждые единицы–десятки ватт потерь. Для обеспечения надежности необходима быстродействующая защита от короткого замыкания (КЗ) в нагрузке. Таким образом, обычный преобразователь получается сложным и дорогим устройством.

На этом фоне более привлекательны резонансные преобразователи, в которых принципиально отсутствуют динамические потери и проще решается проблема помех [4, 6]. В этих схемах легче обеспечить надежность – не требуется быстродействующая защита от КЗ, поскольку происходит естественное ограничение токов КЗ. Правда, статические потери несколько выше – из-за синусоидальной формы

тока, но существует возможность использования менее быстродействующих IGBT-транзисторов, у которых ниже напряжение насыщения, а также преждевременно забытых биполярных, у которых напряжение насыщения еще ниже, чем у IGBT-транзисторов [7], и транзисторов со статической индукцией (СИТ).

В целом классические резонансные преобразователи – значительно проще и надежнее. Однако при всех отмеченных преимуществах им не удается полностью оттеснить обычные преобразователи из-за принципиальных проблем, связанных с регулированием выходного напряжения [3]. Если обычные преобразователи позволяют регулировать выходное напряжение за счет широтно-импульсной модуляции (ШИМ), то в классических резонансных преобразователях использование ШИМ или более специальных методов (частотное регулирование путем изменения частоты коммутации) вызывает еще большие, чем в обычных преобразователях, динамические потери. Известный способ частотного регулирования посредством значительного снижения частоты коммутации хотя и приводит к уменьшению среднего значения напряжения нагрузки и выходной мощности, но лишь к незначительному [8].

Существует еще ряд способов регулирования выходного напряжения, применимых, кстати, ко всем видам преобразователей. Например, использование дополнительного импульсного регулятора, что создает два звена преобразования энергии, в результате чего снижается КПД и резко усложняется конструкция [8]. Возможно еще переключение обмоток трансформаторов или использование набора преобразователей. Однако это также усложняет конструкцию, из-за чего может использоваться только в специальных приложениях, где цена не является определяющим параметром.

Можно сделать вывод, что если удастся решить проблему эффективного регулирования выходного напряжения в резонансных преобразователях, то следует ожидать значительного повышения характеристик устройств силовой электроники.

Новый способ эффективного регулирования выходного напряжения в резонансных преобразователях

Из всех известных и простых способов регулирования выходного напряжения привлекает внимание использование для этого снижения частоты коммутации, так как при этом естественным образом сохраняется главное достоинство резонансных преобразователей – **коммутация в нуле токов**. Изучение процесса преобразования в классическом резонансном преобразователе позволило уточнить механизм его работы и найти более эффективный способ регулирования выходного напряжения для несколько измененной схемы преобразователя в приемлемом диапазоне частот и достаточно широком диапазоне нагрузок. При этом проявился еще ряд положительных эффектов, которые позволили повысить надежность преобразователя и упростить его конструкцию:

- амплитуда токов через силовые транзисторы одинакова как для режима номинальной нагрузки, так и для режима КЗ, когда работает естественное ограничение тока;

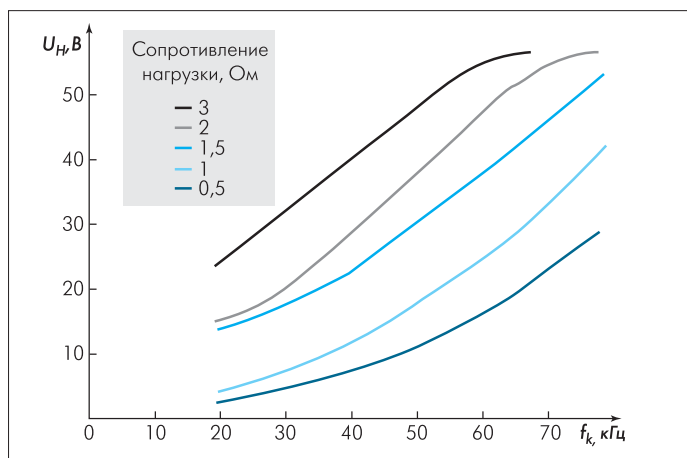


Рис.1. Семейство регулировочных характеристик резонансного преобразователя напряжения "Элкон"

- отсутствуют сквозные токи через силовые транзисторы даже на максимальной частоте коммутации, вследствие чего становится возможным использование биполярных и СИТ-транзисторов;
- нагрузочная характеристика более "мягкая", чем у обычного и классического резонансного преобразователя.

Пример конкретной реализации глубокого регулирования выходного напряжения – резонансный преобразователь "Элкон", который имеет следующие параметры. Мощность преобразователя напряжения для станции катодной защиты 1,8 кВт; питание от выпрямленной сети ~220 В; в качестве силовых ключей – транзисторы IRG4PC30UD; период собственных колебаний резонансного контура – 12 мкс; коэффициент трансформации – 1/2, что определяет диапазон номинальной нагрузки – 0,8–2 Ом. Для минимального значения периода коммутации $T_k < 13$ мкс ($f_k = 77$ кГц) и нагрузки 1 Ом амплитуда тока через транзисторы равна 29 А. В случае КЗ амплитуда тока через транзисторы равна 25 А, а средний ток нагрузки составляет 50 А, т.е. проявляется эффект ограничения тока. На рис.1 представлено семейство регулировочных характеристик преобразователя. Важно отметить, что во всем диапазоне частоты коммутации выполняется коммутация в нуле токов. Результаты получены на физическом макете и моделированием в системе проектирования OrCAD 9.1.

Для сравнения на рис.2 представлено семейство регулировочных характеристик классического резонансного преобразователя равной мощности. Его минимальный период коммутации T_k несколько больше (из-за возникновения сквозных токов) и равен 14 мкс ($f_k = 72$ кГц). Для этой номинальной частоты выполняется режим коммутации в ну-

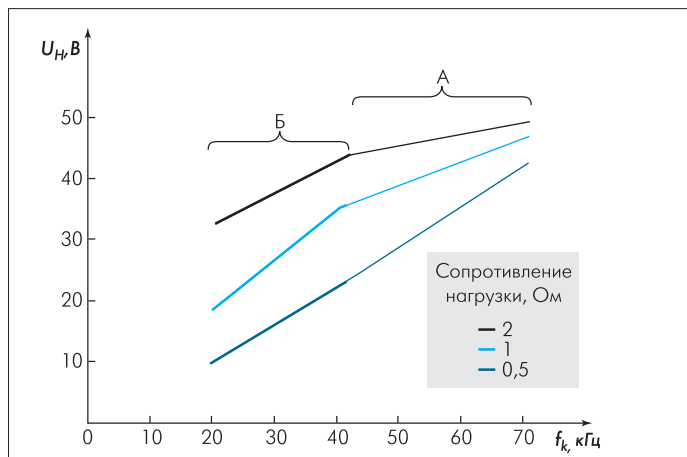


Рис.2. Семейство регулировочных характеристик классического резонансного преобразователя

ле тока. При сопротивлении нагрузки 1 Ом амплитуда тока нагрузки равна 30 А, для сопротивления 0,5 Ом – 58 А. В случае КЗ амплитуда тока через транзисторы становится выше 100 А, причем коммутация силовых транзисторов происходит уже не в нуле токов, а средний ток нагрузки превышает 180 А. Таким образом, для исключения аварии необходима быстрая защита от КЗ.

Участок регулирования А (тонкие линии на рис.2) характеризует режим коммутации не в нуле тока. Практический интерес представляет участок регулирования Б, где частота коммутации меньше номинальной в два и более раз. Следует отметить, что глубина регулирования этим способом в классическом преобразователе 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 (см. таблицу).

Выборочные параметры преобразователей различных типов

| Параметр | ШИМ- преобразователь | Резонансный преобразователь | Преобразователь "Элкон" |
|--|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Возможность появления сквозных токов и динамических перегрузок | Есть | Есть | Исключена |
| Необходимость в защите от режима короткого замыкания | Есть | Есть | Нет |
| Динамические потери | Есть постоянно | Появляются при перегрузках | Отсутствуют при любом режиме |
| Возможность глубокого регулирования выходных параметров | Есть | Нет | Есть |

Полученные результаты позволяют предположить, что преобразователи напряжения, использующие новый способ резонансного преобразования, найдут широкое применение во всех приложениях обычных преобразователей с ШИМ-регулированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков В.М. Силовая электроника – эффективный способ решения проблем региональной программы "Энергоресурсосбережения". – Электротехника, 1996, №12.
2. Ромаш Э.М., Дробович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. Высокочастотные транзисторные преобразователи. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Гончаров А.Ю. Серийно выпускаемые транзисторные преобразователи электроэнергии. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 1998, №2.
4. Ковалев Ф.И., Флоренцев С.Н. Силовая электроника: вчера, сегодня, завтра. – Электротехника, 1997, №11.
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/avst8.html>
7. Жданкин В.К. Устройства силовой электроники фирмы Zicon Electronics. – Современные технологии автоматизации, 2001, №1.
8. Белов Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

Адрес для контактов:

MD2028, Молдова, Кишинев, ул. Академическая, 3/3.
Тел./факс. (3732) 73-90-51.

Email: elcon@elcon.mldnet.com, site: <http://www.elcon.md>

Представитель в РФ: Москва, тел. 8-903-783-82-53, Синавчиан Сергей.