

УДК 621.314

ОДНОФАЗНЫЕ КОРРЕКТОРЫ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Федотов Юрий Борисович, Тишкин Александр Алексеевич
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
E-mail: tishkin-88@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются различные схемные решения однофазных высокочастотных корректоров коэффициента мощности.

Ключевые слова: корректор коэффициента мощности, коэффициент мощности, повышающий преобразователь, IGBT транзистор.

Постановка задачи

Транспорт - одна из сфер материального производства. Его параметры в значительной мере определяют безопасность страны, конкурентоспособность продукции, качество жизни населения и др. Основным видом транспорта в Российской Федерации является железнодорожный. Им осуществляется более 80 % объема перевозок. Основным видом тяги на железных дорогах страны является электрическая, что делает ОАО «Российские железные дороги» одним из крупнейших потребителей электроэнергии в стране. Доля собственного потребления железных дорог равна 6% от общероссийского.

Практически все электровагоны переменного тока, используемые на российских железных дорогах, имеют тяговые двигатели постоянного тока. Преобразователи, применяемые на электровагонах, имеют относительно низкий коэффициент мощности, который, как правило, не превышает 0,85 [1]. Кроме того, работа этих преобразователей вызывает не только искажение формы потребляемого тока электровагона, но и (как следствие) искажение формы напряжения на токоприемнике электровагона. Искажение тока и напряжения являются показателем низкого качества потребления электроэнергии. В связи с этим при работе электровагонов снижаются показатели качества электрической энергии в тяговой сети, что отрицательно сказывается на последней.

Искажение формы напряжения в тяговой сети вызывает появление потерь различной природы, в том числе технических и метрологических. В частности, низкое качество электрической энергии в тяговой сети при работе электровагонов приводит к снижению эффективности как электровагона, так и системы электрической тяги в целом. В условиях рыночных взаимоотношений между поставщиками и потребителями электрической энергии одним из приоритетных направлений является повышение энергоэффективности электрических потребителей и, как следствие, поддержание качества электрической энергии на высоком уровне.

Один из эффективных способов решения этой задачи – применение корректоров коэффициента мощности (ККМ). На практике это означает, что во входную цепь практически любого импульсного преобразователя необходимо включать специальное устройство, обеспечивающее снижение реактивной мощности и искажения формы тока питающей сети.

Схемотехника корректоров коэффициента мощности

Корректоры коэффициента мощности принято классифицировать по трём основным группам [2]:

- пассивные корректоры мощности;
- низкочастотные активные корректоры мощности;
- высокочастотные активные корректоры мощности.

Пассивные ККМ являются самым простым способом повышения коэффициента мощности. Они не содержат элементов, регулирующих ток или напряжение. Основной принцип их работы на фильтрации потребляемого тока. Пассивная коррекция позволяет достичь значения коэффициента мощности около 0,9. Однако такая схема должна включать индуктивности, которые на частоте 50 Гц будут иметь большие габариты и массу. Кроме того, такая схема потребует изменение индуктивности (подстройку) при изменении тока нагрузки. Все это показывает нецелесообразность применения пассивных корректоров мощности на электровозах.

Низкочастотные ККМ. Главное отличие активных ККМ является наличие в схеме силовых ключей, с помощью которых происходит регулирование выходного напряжения и потребляемого тока. Низкочастотные активные ККМ позволяют регулировать выходное напряжение и улучшить коэффициент мощности, однако они так же как пассивные ККМ требуют крупногабаритных реактивных элементов и коэффициент мощности не может превышать значения 0,9.

Для уменьшения размеров элементов фильтра необходимо увеличить частоту преобразования. Высокочастотный ККМ представляет собой обычный выпрямитель (диодный мост) и DC/DC преобразователь. При этом DC/DC преобразователь, имея определённый закон управления, обеспечивает необходимую форму тока и стабилизирует выходное напряжение. Необходимо отметить следующую особенность высокочастотных ККМ: так как потребляемая мощность имеет переменный характер, а выходную мощность необходимо иметь постоянной, то выходное напряжение всегда будет иметь пульсацию с двойной частотой сети. При этом величина пульсации зависит от нагрузки. Таким образом, ёмкость выходного фильтра является накопителем разницы потребляемой мощности и мощности нагрузки. На рис. 1 представлена классификация высокочастотных ККМ.



Рис. 1. Классификация высокочастотных выпрямителей с ККМ

В большинстве случаев буферные устройства, включенные между сетевым выпрямителем и выходным преобразователем, работающие на частоте до 100 кГц и формирующие синусоидальный входной ток, выполнены по схеме повышающего преобразователя, представленной на рис. 2 а) [3].

Схема повышающего импульсного стабилизатора включает в себя индуктивность $L1$, ключевой транзистор $VT1$, диод $VD5$ и емкость $C1$ сглаживающего фильтра. Как правило, в качестве силовых ключей используют IGBT транзисторы, так как рабочие токи МДП (MOSFET) транзисторов не превышают значения в несколько десятков ампер. Применение IGBT транзисторов устраняет необходимость в снабберных цепях и снижающих величину di/dt реакторах, благодаря чему существенно упрощается схема, уменьшается число ее элементов и, следовательно, стоимость, масса и габариты преобразовательной установки по сравнению со схемой на тиристорах GTO [4]. Кроме того, с использованием электрически изолированных IGBT транзисторов значительно облегчается монтаж, поскольку их можно непосредственно ввинчивать в радиаторы-теплообменники системы охлаждения. Это сокращает затраты времени на замену компонентов, а стандартизация плат и крепежа удешевляет конструкцию и способствует продлению срока службы.

В соответствии с принципом действия повышающего стабилизатора напряжения при включении транзистора $VT1$ через индуктивность $L1$ начинает протекать ток, который нарастает по линейному закону. При выключении транзистора $VT1$ ток в индуктивности $L1$ начинает спадать по линейному закону, заряжая через диод $VD5$, емкость фильтра $C1$. На рис. 3 представлены временные диаграммы работы корректора.

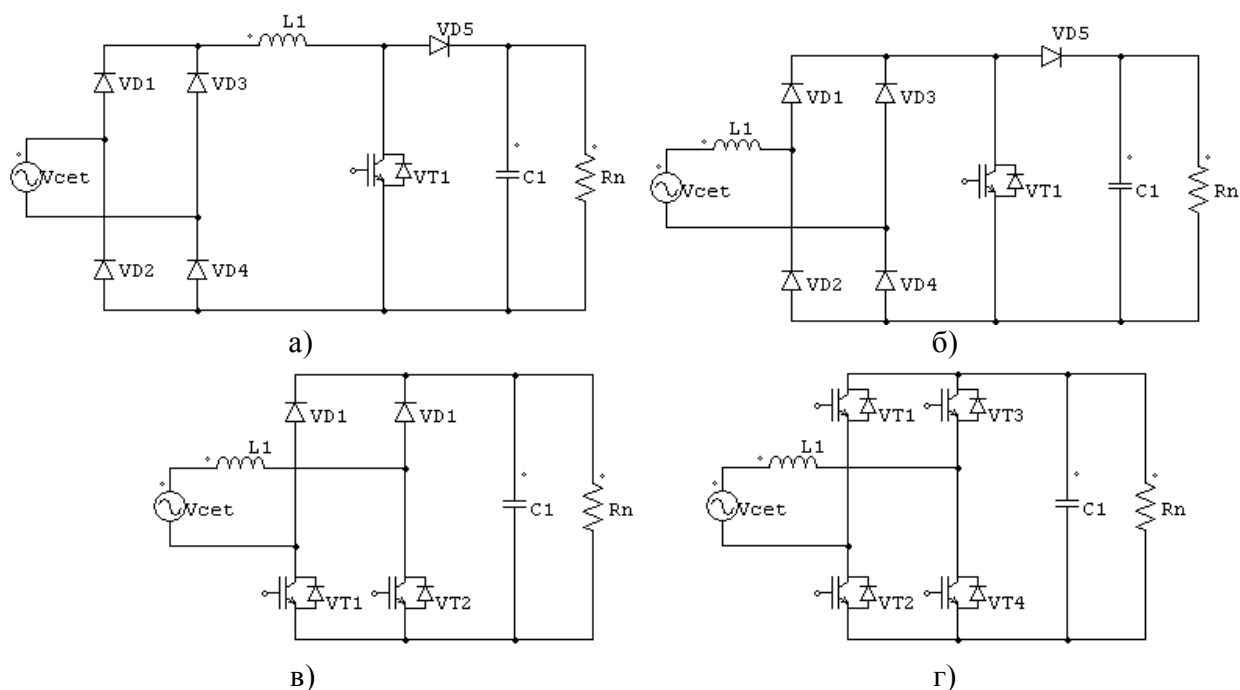


Рис. 2. Варианты схемного исполнения высокочастотного ККМ.

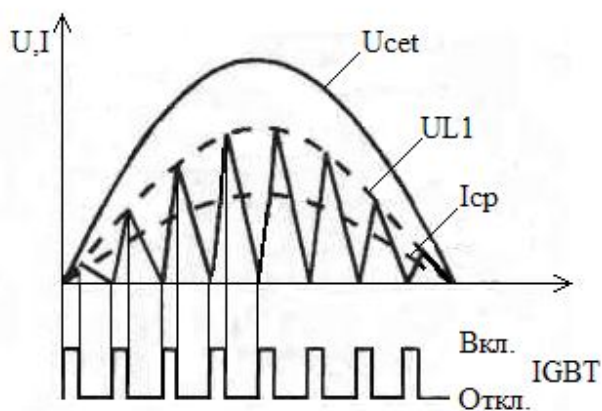


Рис. 3. Временные диаграммы работы корректора.

Существуют и другие варианты включения дросселя и силовых ключей, некоторые из которых представлены на рис. 2 б)-2 г).

Схема на рис. 2 а) представляет собой классический вариант высокочастотного ККМ на основе повышающего преобразователя, с дросселем $L1$, включенным после выпрямителя. Достоинствами этой схемы являются, относительно простая система управления (СУ) силового транзистора, возможность применения низкочастотных диодов $VD1-VD2$, а также простая ошиновка элементов. Так как в схеме используется один мощный транзистор $VT1$, то должна быть предусмотрена хорошая система отдачи тепла. Схемы на рис. 2 б)-2 г) содержат дроссель $L1$, включенный в цепь переменного тока 50 Гц до выпрямителя. Схема на рис. 2 б) - аналог по алгоритму работы схеме 2 а), однако имеет дроссель, вынесенный в цепь переменного тока.

Схема на рис. 2 в) отличается от схемы 2 а), б) меньшим количеством силовых диодов за счет использования двух силовых транзисторов ККМ, поочередно работающих на каждом полупериоде сетевого напряжения. Безмостовой ККМ имеет более высокий К.П.Д. по сравнению с высокочастотным ККМ на основе повышающего преобразователя. ККМ с

широким диапазоном входных напряжений представляют собой одни из самых сложных схем в силовой электронике. Их входное напряжение может меняться от десятков до сотен вольт. Это довольно сложные условия работы, учитывая большой диапазон изменения рабочего тока нагрузки. Безмостовой способ коррекции коэффициента мощности разработан уже давно, но из-за сложности СУ до сих пор не получил широкого распространения. Так же чтобы избежать паразитных индуктивностей требуется сложная ошиновка.

Схема на рис. 2 г) отличается от схемы 2 в) наличием всех полностью управляемых ключей, что дает возможность работать в выпрямительно-инверторном режиме. В настоящее время в связи с экономией электроэнергии на железных дорогах разработка и применение полностью управляемых выпрямителей является наиболее перспективным направлением.

Вывод

Современные системы вторичного электропитания должны содержать корректор коэффициента мощности, так как обеспечение коэффициента мощности более 0.7 потребует применения крупногабаритных и дорогих сетевых фильтров.

Пассивные ККМ являются самым простым способом повышения коэффициента мощности. Им не присущи высокочастотные помехи и динамические потери. Однако они имеют существенные недостатки, такие как плохие удельные характеристики, ограниченный коэффициент мощности 0,9, невозможность регулирования выходного напряжения, плохие динамические характеристики.

Низкочастотные ККМ имеют силовые ключи, с помощью которых происходит регулирование выходного напряжения. и потребляемого тока. Они также имеют также низкую стоимость и относительную простоту, они не являются источниками высокочастотных помех и позволяют регулировать выходное напряжение. Однако коэффициент мощности таких ККМ не может превышать значения 0,9, к тому же они также требуют крупногабаритных реактивных элементов.

Высокочастотные ККМ обладают максимальными удельными характеристиками, они обеспечивают высокий коэффициент мощности. Однако недостатками является необходимость относительно сложной системы управления и дополнительные методы борьбы с электромагнитными помехами.

Литература

1. Кабалык Ю. С. Снижение влияния электровозов переменного тока на форму напряжения в тяговой сети электрифицированных железных дорог: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Хабаровск, 2010. – 23 с.
2. Малаханов А. А. Математическое моделирование импульсно-модуляционных систем с коррекцией коэффициента мощности: дис. канд. техн. наук – Брянск, 2007. – С. 16.
3. Климов, В. П. Схемотехника однофазных корректоров коэффициента мощности / В. П. Климов В. И. Федосеев // Практическая силовая электроника. – 2002. – № 8. – С. 23-28.
4. Коласс А. Применение транзисторов IGBT на железнодорожном подвижном составе / А. Коласс, Ж.-Э. Маслю // Железные дороги мира. – 2001. – № 2. – С 37-41.

Сведения об авторах

Федотов Юрий Борисович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленной электроники Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева, e-mail: fedotovyb@mail.ru

Тишкин Александр Алексеевич, аспирант Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева, научный руководитель Федотов Юрий Борисович, e-mail: tishkin-88@mail.ru

SINGLE PHASE POWER FACTOR CORRECTION

Y. B. Fedotov, A. A. Tishkin
Mordovian N. P. Ogarev State University
E-mail: tishkin-88@mail.ru

Abstract. The article discusses the different schematics of single-phase high frequency power factor correction.

Keywords: power factor correction, power factor, boost converter, IGBT transistor.