

УДК 629.423.32

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗОННЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Иванов В.В., Мятеж С.В., Щуров Н.И., Сергеев А.А.

*ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,
Новосибирск, e-mail: vladik1992.07.27@mail.ru*

В статье рассмотрены способы комбинированного регулирования напряжения на обмотках тяговых трансформаторов ЭПС переменного тока. Рассмотрены различные варианты зонно-фазового регулирования напряжения, отличающиеся числом зон и соотношением напряжений в них. В настоящее время большое распространение получили классические четырехзонные регуляторы, собранные на тиристорах по мостовой схеме выпрямления. Особенности коммутационных процессов в таких схемах требуют вводить искусственную задержку угла открытия тиристоров, что снижает среднее значение коэффициента мощности до 0,8. Предложена усовершенствованная схема четырехзонного выпрямителя с лестничной структурой. В работе приводятся результаты имитационного моделирования, которые показывают, что применение выпрямительных агрегатов с лестничной структурой в составе тяговых преобразователей грузовых электровозов переменного тока позволяет повысить энергетические показатели и прежде всего коэффициент мощности на 2–4%. Доказано, что дополнительным способом повышения коэффициента мощности зонно-фазовых регуляторов является так называемое секторное регулирование. Установлено, что особенно эффективен такой способ на первой зоне регулирования, когда в обычных условиях коэффициент мощности особенно низок (0,4...0,7). Ожидаемое улучшение средневзвешенного коэффициента мощности с учетом длительности работы электровоза на первой зоне должно составить порядка 5–10%.

Ключевые слова: коммутация, секторное регулирование, лестничная структура, зонно-фазовый выпрямитель, электровоз

WAYS TO IMPROVE ENERGY INDICATORS ZONE RECTIFIERS

Ivanov V.V., Myatezh S.V., Schurov N.I., Sergeev A.A.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: vladik1992.07.27@mail.ru

The article describes the methods combined control voltage on the windings of traction transformers EPS AC. Zone-phase control voltage at which the switch simultaneously applied sections of the secondary windings of transformers and phase control (changing the opening angle of thyristor rectifier). Different versions of zone-phase voltage regulation with different number of zones and the ratio of stress to them. Currently, a large widely classical four-zone controls collected thyristor rectifier bridge circuit. However Features switching processes in such schemes require introduce an artificial delay the opening angle of the thyristors, which reduces the average value of the power factor to 0,8. An improved scheme of the four-rectifier with a ladder structure. The paper presents simulation results, which show that the use of rectifiers with the ladder structure composed of traction converters AC electric locomotives can improve energy performance, and above all, the power factor of 2–4%. Proved that an additional way to improve the power factor of zone-phase regulators is the so-called sectoral regulation. It is established that such a method is particularly effective in the first control zone, under normal conditions when the power factor is particularly low (0,4...0,7). Expected improvement of the average power factor, taking into account the duration of the locomotive in the first zone should be about 5–10%.

Keywords: switching, sectoral regulation, ladder structure, band-phase rectifier, locomotive

На электровозах, электрифицированных однофазным переменным током, управление скоростью вращения тягового электрического двигателя постоянного тока достигается за счет изменения величины тока и напряжения. Это возможно с помощью амплитудного регулирования, принцип действия которого основывается на переключении контакторами вторичных обмоток тягового трансформатора. Минусом этого способа регулирования является ступенчатость управления напряжения на выходе и подгорание контактов при регулировании. Стремление обеспечить плавность хода привело к созданию метода фазового регулирования скорости, в основе которого лежит принцип задержки отпирания тиристора, как электронного ключа,

от длительности проводящего состояния которого зависит величина среднего выпрямленного напряжения. Главный недостаток принципа – создание значительной реактивной мощности при фазовом регулировании, что в целом снижает энергетические показатели выпрямителей. В значительной степени указанные недостатки устранены в так называемых зонных или зонно-фазовых регуляторах.

Цель исследований – совершенствование энергетических показателей зонно-фазовых регуляторов.

Материалы и методы исследования

Предметом исследования являются коммутационные процессы в схемах зонно-фазовых регуляторов, и применение новых схемных решений и принципов управления.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Зонно-фазовое регулирование напряжения – способ комбинированного регулирования напряжения на обмотках тяговых трансформаторов электроподвижного состава переменного тока, при котором одновременно применяются переключения секций вторичных обмоток трансформаторов и фазовое регулирование (изменение угла открытия тиристоры выпрямителя). Применяют различные варианты зонно-фазового регулирования напряжения, отличающиеся числом зон и соотношением напряжений в них. В настоящее время большое распространение получили классические четырехзонные регуляторы, собранные на тиристорах по мостовой схеме выпрямления.

Особенности коммутационных процессов в таких схемах требуют вводить искусственную задержку угла открытия тиристоры, что снижает среднее значение коэффициента мощности до 0,8 [1]. Низкие значения коэффициента мощности дополнительно нагружают электрооборудование электровозов и тяговую сеть реактивными

токами и увеличивают расход электроэнергии на тягу поездов.

Данную проблему удалось устранить в усовершенствованном варианте четырехзонного выпрямителя с лестничной структурой, силовая схема которого представлена на рис. 1, и новым, более простым алгоритмом управления тиристоры (таблица).

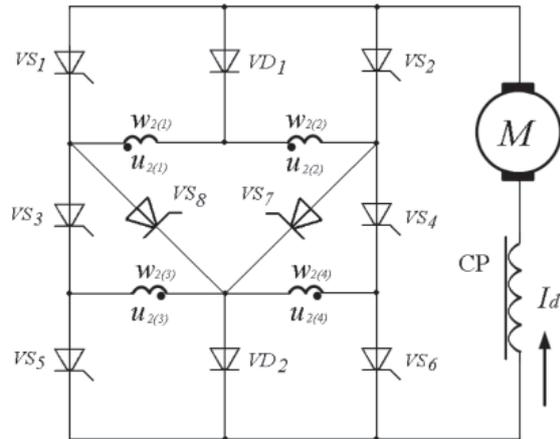


Рис. 1. Силовая часть принципиальной схемы четырехзонного преобразователя лестничной структурой

Алгоритм работы преобразователя

Зона регулирования	Направление ЭДС трансформатора	Алгоритм работы плеч ВИП							
		VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6	VS7	VS8
I	→								●
	←							●	
II	→						●		○
	←					●		○	
III	→			○			●		
	←				○	●			
IV	→		○	○			●		
	←	○			○	●			

Принцип работы предложенного устройства рассмотрим на примере первой зоны регулирования. При положительной полуволне напряжение секции $w_{2(1)}$ вторичной обмотки трансформатора через тиристор $VS8$ с углом $\alpha_{пер} > 0^\circ$ и диоды $VD1$ и $VD2$ прикладывается к цепи нагрузки (рис. 2, а). При отрицательной полуволне, напряжение секции $w_{2(2)}$ вторичной обмотки трансформатора через тиристор $VS7$ с углом $\alpha_{пер} > 0^\circ$ и диоды $VD1$ и $VD2$ прикладывается к цепи нагрузки (рис. 2, б).

Для компактности примем условно-графические обозначения сигналов управляющих импульсов, отпирающие тиристоры:

● – регулируемый по фазе импульс $\alpha_{пер}^\circ$;
○ – нерегулируемый по фазе импульс α_0° .

Результаты имитационного моделирования и расчеты коэффициентов мощности доказали, что выпрямители с лестничной структурой обладают меньшей общей продолжительностью коммутационных процессов по сравнению с мостовым выпрямителем. Применение выпрямительных агрегатов с лестничной структурой в составе тяговых преобразователей грузовых электровозов на переменном токе позволяет повысить энергетические показатели и, прежде всего, коэффициент мощности в целом на 2–4%.

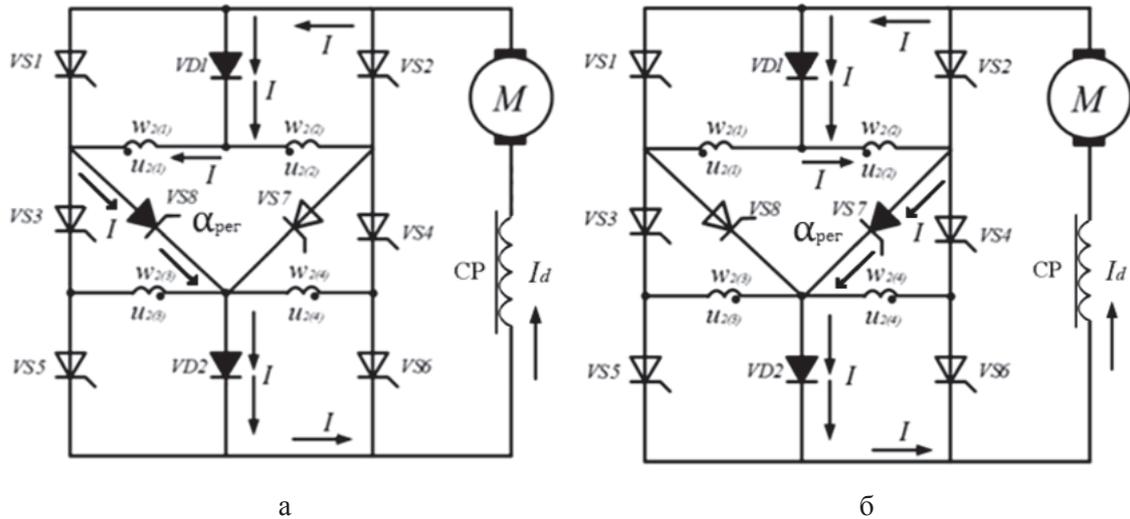


Рис. 2. Схема протекания тока на зоне:

а – при положительной полуволне напряжения; б – при отрицательной полуволне напряжения

Дополнительным способом повышения коэффициента мощности зонно-фазовых регуляторов является так называемое секторное регулирование [2]. При таком регулировании выпрямленного напряжения не происходит сдвига по фазе первой гармоники сетевого тока относительно напряжения, и характеристика коэффициента мощности существенно повышается.

В результате этой замены высокие значения коэффициента мощности будут наблюдаться на всех зонах. Особенно эффективен данный способ на первой зоне регулирования, когда в обычных условиях коэффициент мощности особенно низок (0,4...0,7). Для этих целей в схеме рис. 1 достаточно заменить тиристоры VS7 и VS8 полностью управляемыми силовыми полупроводниками, такими как IGBT (рис. 3).

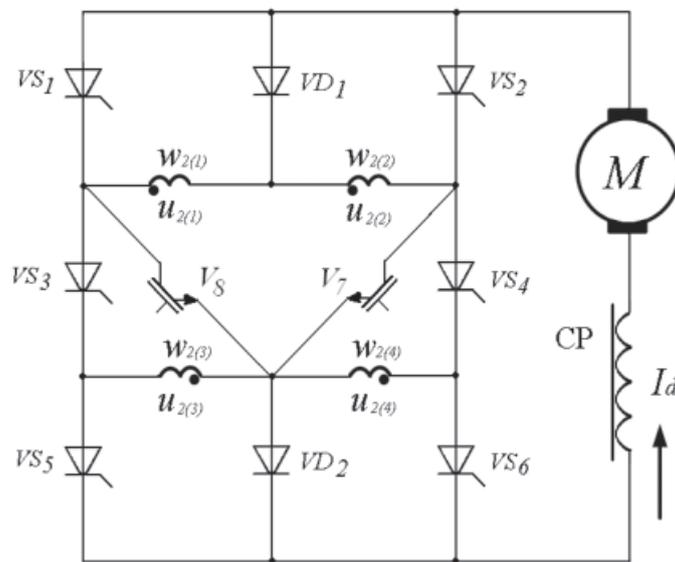


Рис. 3. Силовая схема четырёхзонного преобразователя лестничной структуры с секторным управлением

В этом случае управление тяговым электродвигателем на первой зоне будет осуществляться одновременным смещением на угол α переднего фронта тока и таким же

смещением на угол β , но в противоположную сторону заднего фронта тока с таким расчетом, чтобы не возникало сдвига по фазе ϕ основной гармоники сетевого тока (рис. 4).

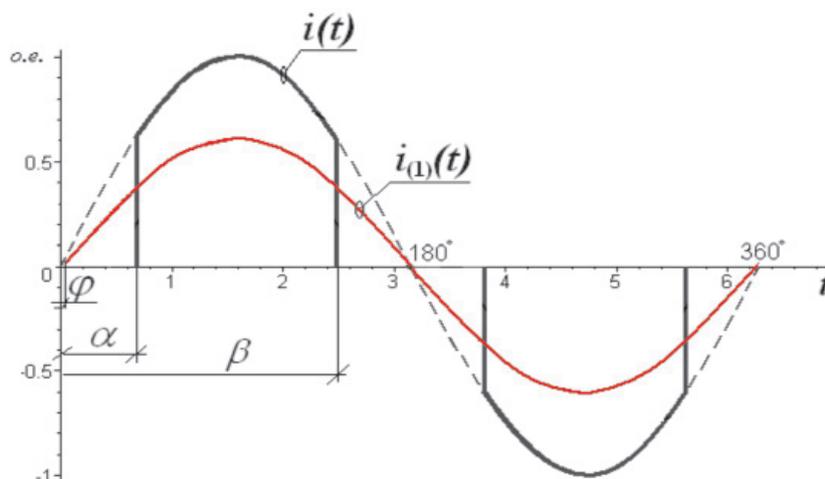
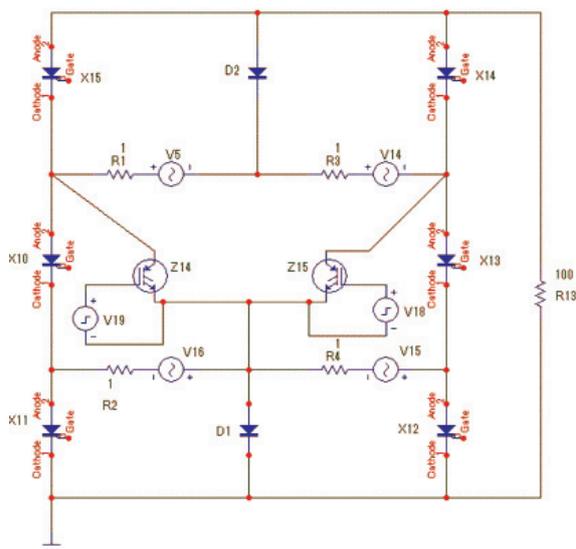


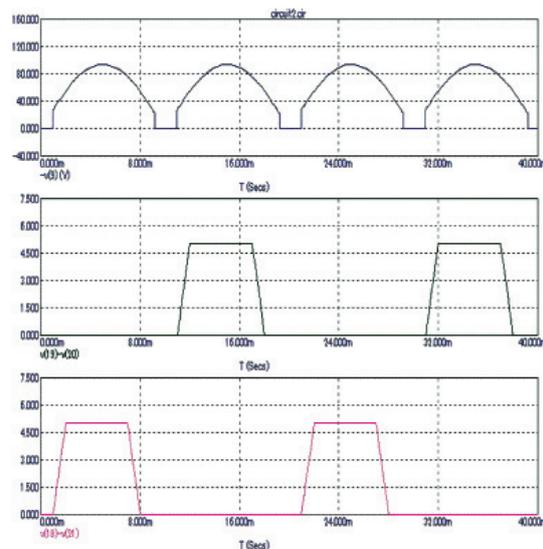
Рис. 4. Кривая сетевого тока и его первой гармоники выпрямителя в случае секторного регулирования на первой зоне

На рис. 5, а показана рабочая схема преобразователя на I зоне регулирования, собранная в среде имитационного модели-

рования Micro-Cap и функционирующая в соответствии с разработанным алгоритмом управления.



а



б

Рис. 5. Моделирование преобразователя лестничной структуры:

а – схема преобразователя в Micro-Cap; б – диаграмма работы преобразователя на I зоне регулирования

Для управления транзисторами и соблюдения необходимой очередности включения применены настраиваемые источники периодических импульсных сигналов.

Результаты имитационного моделирования, согласно собранной схеме на рис. 5, а, представляют собой волновые диаграммы напряжений во всех интересующих узлах схемы (рис. 5, б).

Секторное регулирование устраняет сдвиг по фазе φ основной гармоники сетевого тока, что улучшает энергетические показатели преобразователя за счет компенсации реактивной мощности.

В настоящее время идёт работа по созданию физической модели выпрямителя с секторным регулированием.

Заключение

В результате анализа схем зонно-фазовых регуляторов выявлено, что пути повышения их энергетических показателей ориентированы в направлении развития и совершенствования новых схемных решений выпрямителей и принципов управления.

Выпрямители с лестничной структурой обладают меньшей общей продолжительностью коммутационных процессов по сравнению с мостовым выпрямителем. Применение рассмотренных в статье выпрямительных агрегатов с лестничной структурой в составе тяговых преобразователей грузовых электровозов переменного тока позволяет повысить энергетические показатели и прежде всего коэффициент мощности в среднем на 2–4%. Теоретически секторное регулирование увеличивает средневзвешенный коэффициент мощности на 25–30%, с учетом того, что электровозы большее время работают на 1-й зоне.

Кроме этого, уменьшение угла коммутации γ эквивалентно уменьшит емкость и габаритные размеры статических компенсаторов реактивной мощности, если их применять для электровозов, работающих на переменном токе.

Список литературы

1. Плакс А.В. Системы управления электрических подвижным составом: учеб. для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 360 с.

2. Южаков Б.Г. Электрический привод и преобразователи подвижного состава. – М.: Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2007. – 398 с.

3. Евдокимов С.А., Евдокимова Л.Г. Однофазный преобразователь переменного тока в постоянный // Патент России № 2398344. 2009. Бюл. № 24.

4. Мятаж С.В., Щуров Н.И., Джаборов М.М. Совершенствование зонных выпрямителей // Электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 40–45.

5. Тихменев Б.Н., Кучумов В.А. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. – М.: Транспорт, 1988. – 311 с.

References

1. Plax A.V. Electrical control system of rolling stock: textbook for universities railroad transport. M.: Route 2005. 360 p.

2. Juzhakov B.G. Electric drive and converters rolling stock. M.: Training Centre for Education on train truck, 2007. 398 p.

3. Evdokimov S.A., Evdokimov L.G. Single-phase inverter AC to DC // Patent of Russia no. 2398344. 2009. Bull. Number 24.

4. Mutiny S.V., Shchourov N.I., Jaborov M.M. Improving band rectifiers. Electromechanics, 2012. no. 6. pp. 40–45.

5. Tikhmenev B.N., Kuchumov V.A. Electric AC thyristor converters. Moscow: Transport, 1988. 311 p.

Рецензенты:

Аносов В.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок, НГТУ, г. Новосибирск;

Алиферов А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электротехнологических установок, НГТУ, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 05.08.2014.