

П.В. Григоренко, О.В. Мельниченко

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

ВЫБОР АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПЛЕЧАМИ ВИП ЭЛЕКТРОВОЗА НА ПЕРВОЙ ЗОНЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Приведен анализ работы выпрямительно-инверторного преобразователя на тиристорах при различных алгоритмах работы на первой зоне регулирования. Результаты проведенного анализа алгоритмов управления представлены в виде перечня их достоинств и недостатков. Проанализирован алгоритм управления углом с фазой α_p на выпрямительно-инверторном преобразователе с тиристорами и включенным разрядным диодным плечом. Такой алгоритм управления совместно с разрядным диодным плечом позволяет достичь значительного положительного эффекта в виде повышения коэффициента мощности электровоза на 4 % и разгрузки тиристорных плеч ВИП, тем самым увеличить его долговечность и работоспособность.

Ключевые слова: выпрямительно-инверторный преобразователь, алгоритм управления, коммутация, энергетические показатели электровоза, коэффициент мощности, первая зона регулирования.

P.V. Grigorenko, O.V. Melnichenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

SELECTION OF THE ALGORITHM FOR CONTROL OF THE ARMS OF THE RIC IN THE FIRST REGULATION ZONE

Abstract. An analysis of the operation of a rectifier-inverter converter (RIC) based on thyristors with various algorithms of operation in the first regulation zone is given. The results of the analysis of control algorithms are presented in the form of a list of their advantages and disadvantages. The algorithm for controlling the angle with the phase α_p on a rectifier-inverter converter with thyristors and a switched-on discharge diode arm is analyzed. Such a control algorithm together with a discharge diode arm allows achieving a significant positive effect in the form of an increase in the power factor of an electric locomotive by 4% and unloading the thyristor arms of the RIC, thereby increasing its durability and working capacity.

Keywords: rectifier-inverter converter, control algorithm, commutation, electric locomotive energy performance, power coefficient, first regulation zone.

Введение

На железных дорогах Российской Федерации эксплуатируются значительные объёмы электровозов переменного тока, по данным на 1 апреля 2021 года эта цифра составила 11971 секций, из них 7645 секций с выпрямительно-инверторными преобразователями (ВИП) на базе тиристоров [1]. К тому же с 2004 года Новочеркасский электровозостроительный завод (НЭВЗ) непрерывно выпускает электровозы серии 2(3,4)ЭС5К «Ермак», которые будут эксплуатироваться ещё более 20-30 лет. Также на ближайшую пятилетку запланирован выпуск этих электровозов по 100 и более секций в год. Так как сегодня и на перспективу объёмы этих электровозов значительны и в будущем будут только расти, то важным остаётся вопрос организации управления тиристорами плеч ВИП в эксплуатации с целью повышения энергетических показателей электровоза и его работоспособности. При организации алгоритмов управления ВИП необходимо учитывать отдельно работу первой и последующих зон регулирования выпрямленного напряжения на ТЭД. Поэтому в данной статье рассматривается различный подход к организации коммутации тиристорных плеч ВИП на первой зоне регулирования, в части повышения их эффективности. Дополнительно можно сказать о том, что бесперебойная работа первой зоны является важной с точки зрения дальнейшей эксплуатации электровоза, так как именно на данной зоне используются максимальные токи ТЭД, например, при трогании с места и разгоне поезда.

Для того чтобы отследить тенденцию развития эффективности управления работой первой зоны ВИП необходимо рассмотреть несколько способов управления плечами ВИП. Для

наглядности процесса зададимся фазовыми углами равными $\alpha_p = 90$ эл. град. Все процессы анализируются на примере одного полупериода. Рассмотрим алгоритм управления, когда на все плечи ВИП первой зоны регулирования подаются углы только с фазой α_p (табл. 1).

Таблица 1

Алгоритм работы ВИП электровоза на первой зоне регулирования при управлении углом с фазой α_p

Направление ЭДС	Алгоритм работы системы ВИП			
	Номера плеч ВИП			
	3	4	5	6
→		α_p	α_p	
←	α_p			α_p

Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования представлена на рис. 1.

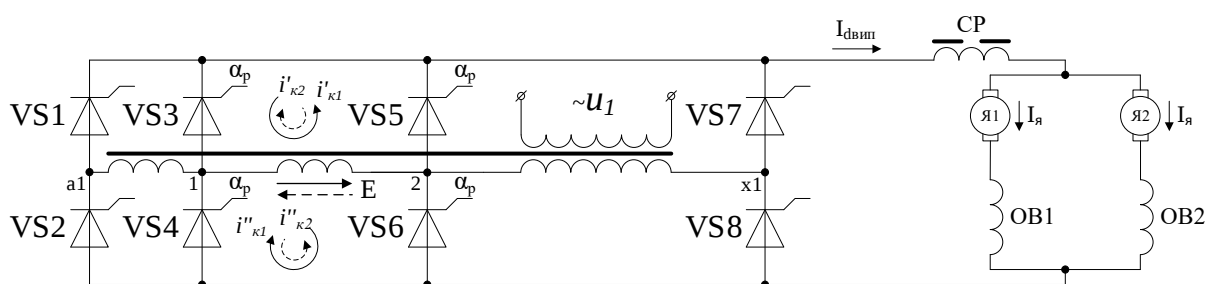


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования, на примере одной тележки

На рисунке 2 представлены электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока. Для детального рассмотрения первый полупериод разбиваем на временные интервалы 0-1-2- π , а второй на π -3-4-2 π .

Допустим, что в предшествующем полупериоде напряжения, обозначенном на рисунке 1 пунктирной стрелкой, ток протекал по плечам VS3 и VS6 благодаря приложенной к ним отрицательного знака в этом полупериоде переменной э.д.с. e_{1-2} секции 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза. После смены в точке 0 направления э.д.с. с пунктирной на сплошную стрелку, на интервале 0-1 обеспечивается возникновение отрицательного выпрямленного напряжения u_d (рис. 2). Это объясняется всё ещё проводимыми ток нагрузки тиристорами плеч VS3 и VS6, но уже не под действием e_{1-2} , а под действием э.д.с. самоиндукции e_L , возникшей в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока во время прохождения по ней тока нагрузки в предыдущий полупериод напряжения сети. В результате через секцию 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза и плечи VS3, VS6 происходит разряд (передача) в сеть электромагнитной энергии, накопленной в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока.

Согласно алгоритму управления ВИП (табл. 1) в момент времени, соответствующий цифре 1, на плечи VS4 и VS5 одновременно подаются импульсы управления с фазой $\alpha_p = 90$ эл.град. На интервале 1-2 (рис. 2) происходит коммутация (обозначенная на рис. 1 сплошными стрелками $i'_{к1}$ и $i''_{к1}$), ток в плечах VS4 и VS5 возрастает, а в плечах VS3 и VS6 падает до нуля. При этом выпрямленное напряжение равно нулю, что объясняется кратковременным коротким замыканием секции вторичной обмотки тягового трансформатора.

На интервале 2- π (рис. 2) ток протекает через открытые тиристорные плечи VS4 и VS5. К тяговым двигателям электровоза прикладывается напряжение, обусловленное выводами 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора.

В следующий полупериод электромагнитные процессы в ВИП происходят аналогично описанным выше, меняются только плечи преобразователя, на VS3 и VS6.

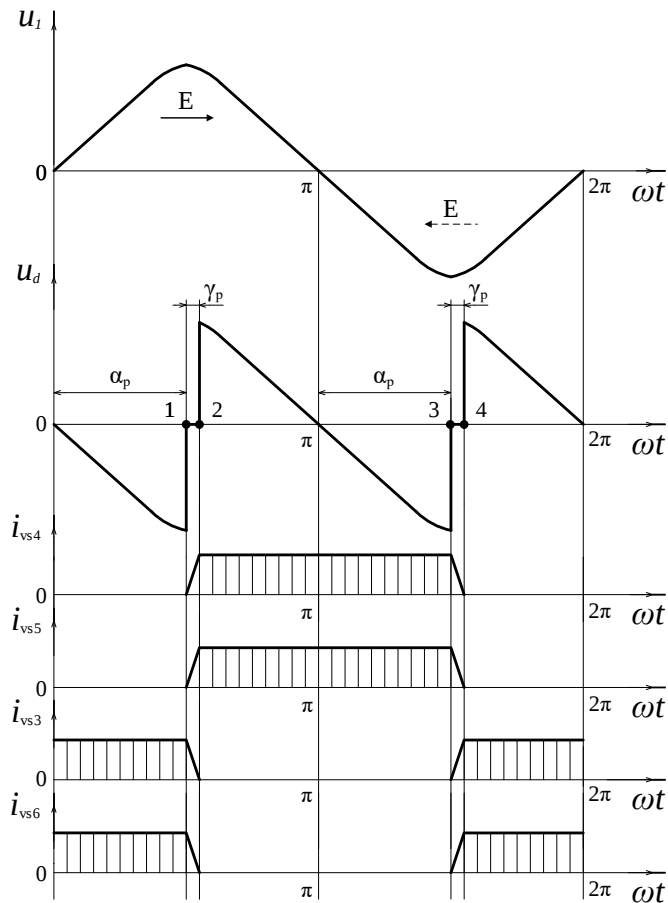


Рис. 2. Электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока при управлении углом с фазой α_p

Зависимость выпрямленного напряжения от угла регулирования α_p (регулирующая характеристика) представлена на рис. 3.

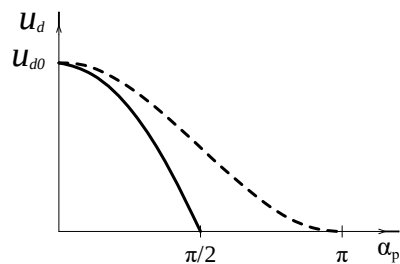


Рис. 3. Регулирующая характеристика тиристорного выпрямителя при управлении α_p без организации буферного контура

При таком управлении коэффициент мощности K_m составляет не более 0,5. Для расширения области регулировочной характеристики выпрямителя и повышения коэффициента мощности необходимо стремиться увеличить диапазон до пунктирной линии (рис. 3). Анализируя полученные процессы, можно заключить следующие достоинства и недостатки.

Достоинства:

- Отсутствует надобность в слежении за потенциальными условиями.

Недостатки:

- Недопустимо низкий коэффициент мощности и узкая регулировочная характеристика ($0 < \alpha_p < \pi/2$).

Такой алгоритм управления непригоден для работы электровоза на первой зоне регулирования выпрямленного напряжения. Рассмотрим следующий алгоритм управления – продольный, здесь подразумевается формирование и подача дополнительного импульса управления с фазой α_0 (α_0 – минимальный угол открытия тиристоров плеч ВИП, служит для подачи импульса управления на управляющие электроды тиристоров при достижении минимальных, но достаточных потенциальных условий для синхронного открытия всех тиристоров плеча ВИП). Алгоритм представлен в таблице 2.

Таблица 2

Направление ЭДС	Алгоритм работы системы ВИП			
	Номера плеч ВИП			
	3	4	5	6
		α_0	α_p	
	α_0			α_p

Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования представлена на рис. 4.

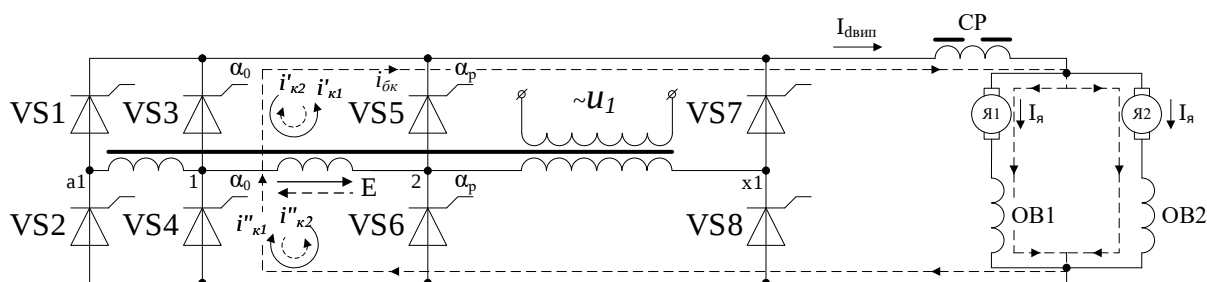


Рис. 4. Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования, на примере одной тележки

На рисунке 5 представлены электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока. Для детального рассмотрения первый полупериод разбиваем на временные интервалы 0-1-2-3-4- π , а второй на π -5-6-7-8-2 π .

Допустим, что в предшествующем полупериоде напряжения, обозначенном на рисунке 4 пунктирной стрелкой, ток протекал по плечам VS3 и VS6 благодаря приложенной к ним отрицательного знака в этом полупериоде переменной э.д.с. e_{1-2} секции 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза. После смены в точке 0 направления э.д.с. с пунктирной на сплошную стрелку, на интервале 0-1 обеспечивается возникновение отрицательного выпрямленного напряжения u_d (рис. 5). Это объясняется всё ещё проводимыми ток нагрузки тиристорами плеч VS3 и VS6, но уже не под действием e_{1-2} , а под действием э.д.с. самоиндукции e_L , возникшей в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока во время прохождения по ней тока нагрузки в предыдущий полупериод напряжения сети. В результате через секцию 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза и плечи VS3, VS6 происходит разряд (передача) в сеть электромагнитной энергии, накопленной в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока.

Согласно алгоритму управления ВИП (табл. 2) в момент времени, соответствующий цифре 1, на плечо VS4 подаётся импульс управления с фазой α_0 . На интервале 1-2 (рис. 5) происходит коммутация (обозначенная на рис. 4 сплошной стрелкой $i''_{\kappa I}$), ток в плече VS4 возрастает, а в плече VS6 падает до нуля. Выпрямленное напряжение равно нулю.

На интервале 2-3 образуется буферный контур протекания тока нагрузки через тиристорные плечи VS3, VS4 (обозначенный на рис. 4 пунктирной линией $i_{\text{бк}}$), минуя вторичную обмотку трансформатора, выпрямленное напряжение при этом также равняется нулю (рис. 5).

В момент времени соответствующий цифре 3, на плечо VS5 подаётся импульс управления с фазой $\alpha_p = 90$ эл.град. На интервале 3-4 (рис. 5) происходит коммутация (обозначенная на рис. 4 сплошной стрелкой i'_{kl}), ток в плече VS5 возрастает, а в плече VS3 падает до нуля.

На интервале $4-\pi$ (рис. 5) ток протекает через открытые тиристорные плечи VS4 и VS5. К тяговым двигателям электровоза прикладывается напряжение, обусловленное выводами 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора.

В следующий полупериод электромагнитные процессы в ВИП происходят аналогично описанным выше, меняются только плечи преобразователя, на VS3 и VS6.

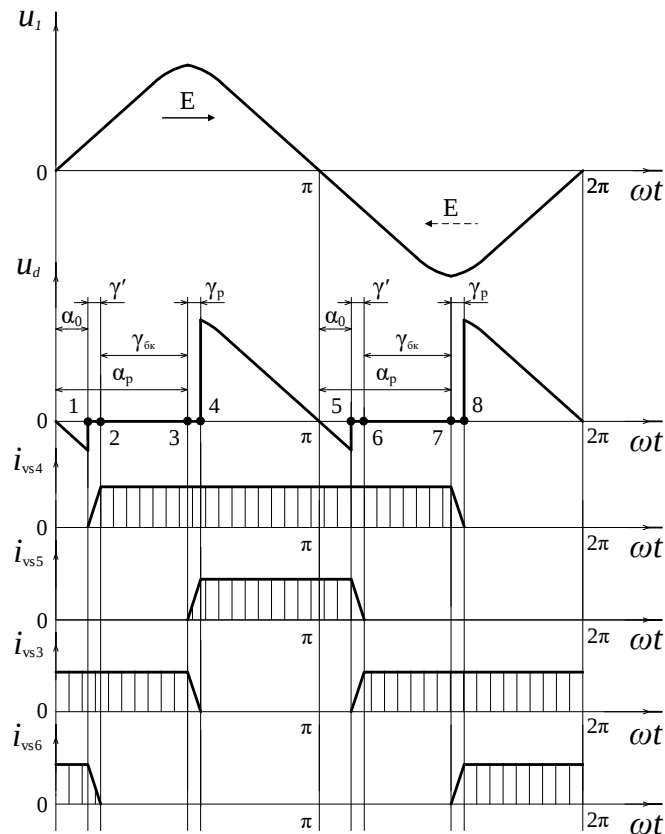


Рис. 5. Электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока при продольном управлении

Зависимость выпрямленного напряжения от угла регулирования α_p (регулировочная характеристика) представлена на рис. 6.

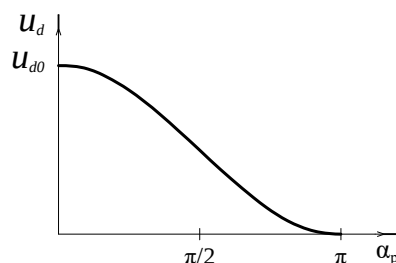


Рис. 6. Регулировочная характеристика тиристорного выпрямителя при продольном управлении с организацией буферного контура через плечи VS3 и VS4

При таком управлении коэффициент мощности K_m составляет 0,84. Анализируя полученные процессы, можно заключить следующие достоинства и недостатки.

Достоинства:

- Коэффициент мощности значительно выше, чем в предыдущем алгоритме управления;

- Широкий диапазон регулирования выпрямленного напряжения ($0 < \alpha_p < \pi$).

Недостатки:

- Неравномерная нагрузка на плечи ВИП, буферный контур всегда образуется через плечи VS3 и VS4, которые к тому же перегружены по току;
- Необходимо отслеживать потенциальные условия для подачи угла α_0 ;
- Сохраняется отрицательная составляющая выпрямленного напряжения пропорциональная длительности угла α_0 .

Такой алгоритм управления непригоден для работы электровоза на первой зоне регулирования выпрямленного напряжения. Рассмотрим следующий алгоритм управления – поперечный, при нём также подаются импульсы управления α_p и α_0 , но уже на другие плечи [2]. Алгоритм представлен в таблице 3.

Таблица 3

Направление ЭДС	Алгоритм работы системы ВИП			
	Номера плеч ВИП			
	3	4	5	6
→		α_p	α_0, α_p	
←	α_0			α_p

Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования представлена на рис. 7.

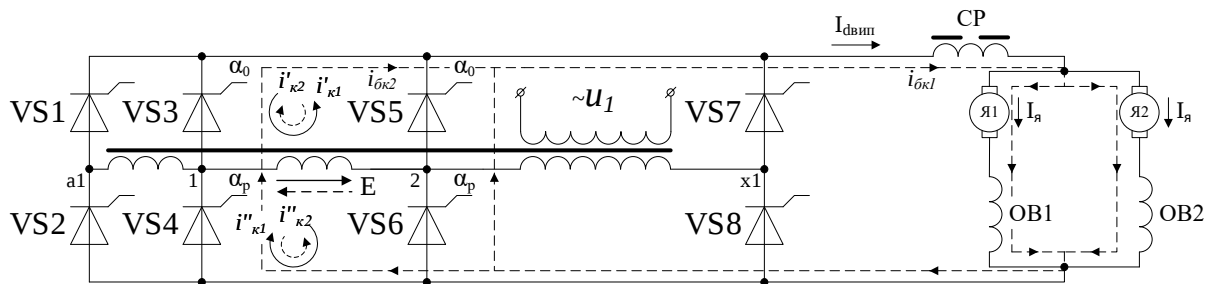


Рис. 7. Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования, на примере одной тележки

На рисунке 8 представлены электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока. Для детального рассмотрения первый полупериод разбиваем на временные интервалы 0-1-2-3-4- π , а второй на π -5-6-7-8-2 π .

Допустим, что в предшествующем полупериоде напряжения, обозначенном на рисунке 7 пунктирной стрелкой, ток протекал по плечам VS3 и VS6 благодаря приложенной к ним отрицательного знака в этом полупериоде переменной э.д.с. e_{1-2} секции 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза. После смены в точке 0 направления э.д.с. с пунктирной на сплошную стрелку, на интервале 0-1 обеспечивается возникновение отрицательного выпрямленного напряжения u_d (рис. 8). Это объясняется всё ещё проводимыми ток нагрузки тиристорами плеч VS3 и VS6, но уже не под действием e_{1-2} , а под действием э.д.с. самоиндукции e_L , возникшей в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока во время прохождения по ней тока нагрузки в предыдущий полупериод напряжения сети. В результате через секцию 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза и плечи VS3, VS6 происходит разряд (передача) в сеть электромагнитной энергии, накопленной в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока.

Согласно алгоритму управления ВИП (табл. 3) в момент времени, соответствующий цифре 1, на плечо VS5 подаётся импульс управления с фазой α_0 . На интервале 1-2 (рис. 8)

происходит коммутация (обозначенная на рис. 7 сплошной стрелкой $i'_{\kappa I}$), ток в плече VS5 возрастает, а в плече VS3 падает до нуля. Выпрямленное напряжение равно нулю.

На интервале 2-3 образуется буферный контур протекания тока нагрузки через тиристорные плечи VS5, VS6 (обозначенный на рис. 7 пунктирной линией $i_{\delta\kappa I}$), минуя вторичную обмотку трансформатора, выпрямленное напряжение при этом также равняется нулю (рис. 8).

В момент времени соответствующий цифре 3, на плечо VS4 подаётся импульс управления с фазой $\alpha_p = 90$ эл.град. На интервале 3-4 (рис. 8) происходит коммутация (обозначенная на рис. 7 сплошной стрелкой $i''_{\kappa I}$), ток в плече VS4 возрастает, а в плече VS6 падает до нуля.

На интервале 4- π (рис. 8) ток протекает через открытые тиристорные плечи VS4 и VS5. К тяговым двигателям электровоза прикладывается напряжение, обусловленное выводами 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора.

В следующий полупериод электромагнитные процессы в ВИП происходят аналогично описанным выше, меняются только плечи преобразователя, на VS3 и VS6.

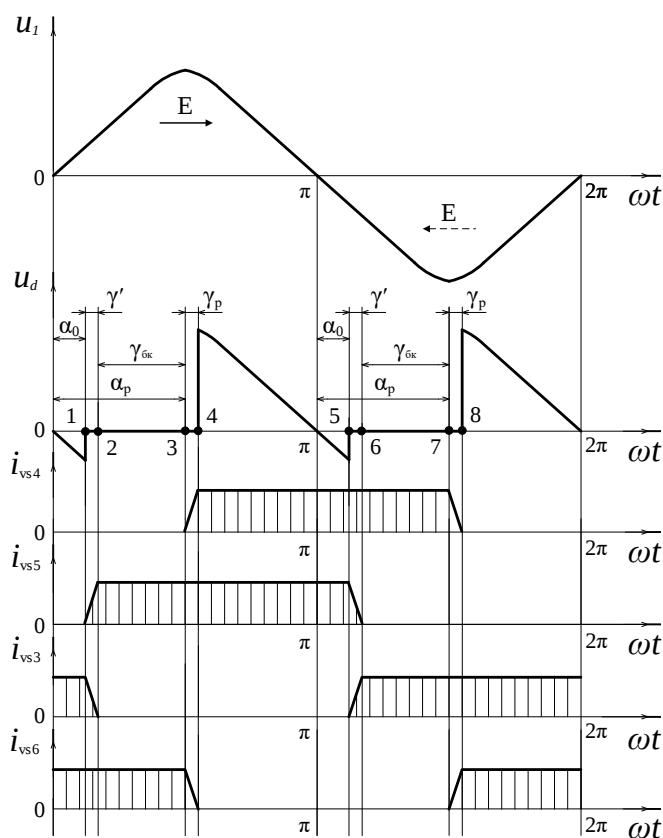


Рис. 8. Электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока при поперечном управлении

Зависимость выпрямленного напряжения от угла регулирования α_p (регулировочная характеристика) представлена на рис. 9.

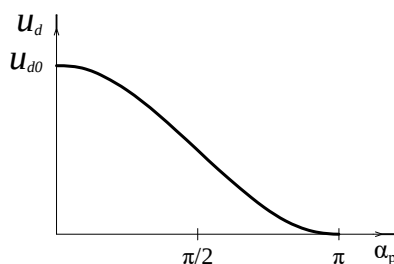


Рис. 9. Регулировочная характеристика тиристорного выпрямителя при поперечном управлении с организацией буферного контура через плечи VS3, VS4 и VS5, VS6

При таком управлении коэффициент мощности K_m составляет 0,84. Анализируя полученные процессы, можно заключить следующие достоинства и недостатки.

Достоинства:

- Коэффициент мощности такой же, как и при продольном управлении;
- Равномерная нагрузка на плечи ВИП, буферный контур образуется через параллельные плечи VS3, VS4 и VS5, VS6;
- Широкий диапазон регулирования выпрямленного напряжения ($0 < \alpha_p < \pi$).

Недостатки:

- Необходимость отслеживать потенциальные условия для подачи угла α_0 ;
- Сохраняется отрицательная составляющая выпрямленного напряжения пропорциональная длительности угла α_0 .

Именно такой алгоритм управления в настоящее время и применяется для работы электровоза на первой зоне регулирования выпрямленного напряжения. Рассмотрим предлагаемый алгоритм управления – углом с фазой α_p и наличием разрядного диодного плеча, включенного параллельно цепи выпрямленного тока [3-9]. Алгоритм представлен в таблице 4.

Таблица 4

Алгоритм работы ВИП электровоза на первой зоне регулирования при управлении углом с фазой α_p и разрядным диодным плечом

Направление ЭДС	Алгоритм работы системы ВИП			
	Номера плеч ВИП			
	3	4	5	6
→		α_p	α_p	
←.....	α_p			α_p

Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования представлена на рис. 10.

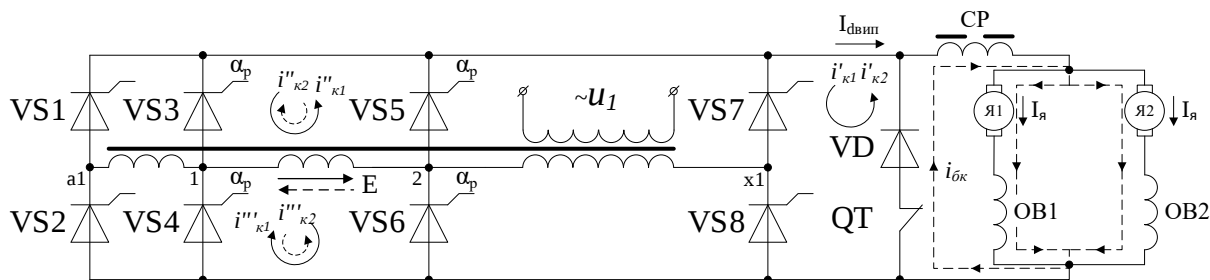


Рис. 10. Упрощенная принципиальная схема электровоза с ВИП на первой зоне регулирования, на примере одной тележки

На рисунке 11 представлены электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока. Для детального рассмотрения первый полупериод разбиваем на временные интервалы 0-1-2-3- π , а второй на π -4-5-6- 2π .

Допустим, что в предшествующем полупериоде напряжения, обозначенном на рисунке 10 пунктирной стрелкой, ток протекал по плечам VS3 и VS6 благодаря приложенной к ним отрицательного знака в этом полупериоде переменной э.д.с. e_{1-2} секции 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза. После смены в точке 0 направления э.д.с. с пунктирной на сплошную стрелку, на интервале 0-1 (рис. 11) открывается разрядное диодное плечо VD за счёт приложения к нему отрицательного знака э.д.с. e_{1-2} через открытые ещё плечи VS3 и VS6, а также под действием э.д.с. самоиндукции e_L , возникшей в индуктивности L_d цепи выпрямленного тока во время прохождения по ней тока нагрузки в предыдущий полупериод напряжения сети. В результате ток нагрузки замыкается через плечо VD, минуя обмотку тягового

трансформатора. Токи в плечах VS3 и VS6 падают до нуля и плечи закрываются (процесс коммутации обозначен на рис. 10 сплошной стрелкой $i'_{\kappa I}$). Выпрямленное напряжение при этом равняется нулю.

На интервале 1-2 (рис. 11) ток нагрузки (обозначенный на рис. 10 пунктирной линией $i_{\delta\kappa}$) протекает через разрядное диодное плечо благодаря накопленной электромагнитной энергии в индуктивностях нагрузки.

В момент времени, соответствующий цифре 2, на плечи VS4 и VS5 одновременно подаются импульсы управления с фазой $\alpha_p = 90$ эл.град. На интервале 2-3 (рис. 11) происходит коммутация (обозначенная на рис. 10 сплошными стрелками $i''_{\kappa I}$ и $i'''_{\kappa I}$), ток в плечах VS4 и VS5 возрастает, а в плече VD падает до нуля. При этом выпрямленное напряжение равно нулю, что объясняется кратковременным коротким замыканием секции вторичной обмотки тягового трансформатора.

На интервале 3- π (рис. 11) ток протекает через открытые тиристорные плечи VS4 и VS5. К тяговым двигателям электровоза прикладывается половина напряжения первой зоны, обусловленное выводами 1-2 вторичной обмотки тягового трансформатора.

В следующий полупериод электромагнитные процессы в ВИП происходят аналогично описанным выше, меняются только плечи преобразователя, на VS3 и VS6.

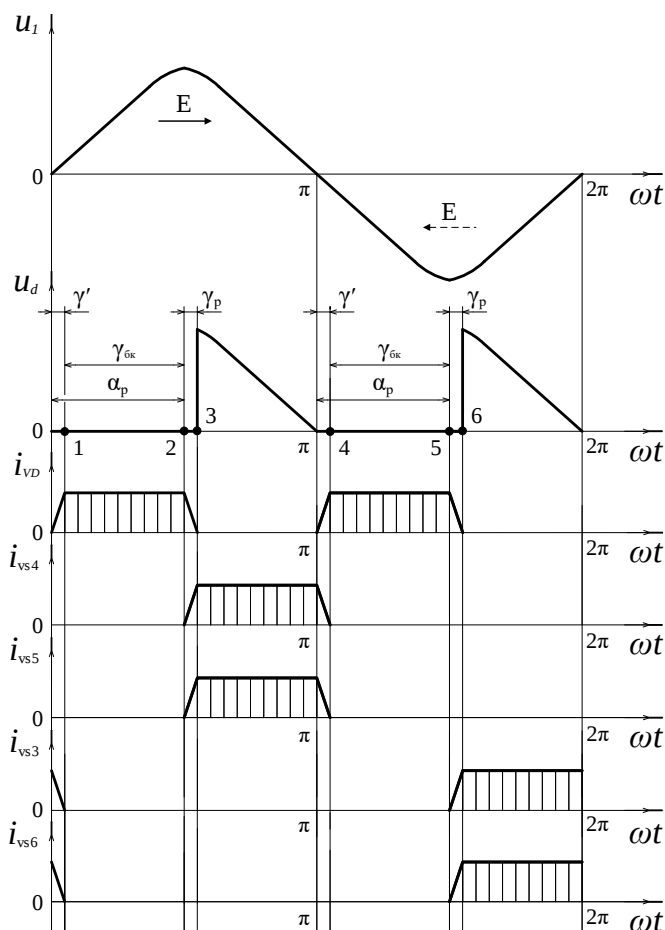


Рис. 11. Электромагнитные процессы в цепи постоянного и переменного тока при управлении углом с фазой α_p и разрядным диодным плечом

Зависимость выпрямленного напряжения от угла регулирования α_p (регулирующая характеристика) представлена на рис. 12.

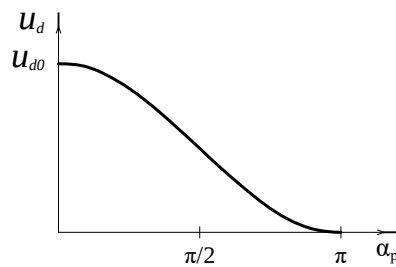


Рис. 12. Регулировочная характеристика тиристорного выпрямителя при управлении α_p с организацией буферного контура через разрядное диодное плечо, минуя плечи преобразователя

При таком управлении коэффициент мощности K_m составляет 0,88. Анализируя полученные процессы, можно заключить следующие достоинства и недостатки.

Достоинства:

- Отсутствует надобность в слежении за потенциальными условиями;
- Упрощённый алгоритм управления на первой зоне регулирования ВИП (отсутствует надобность формирования угла с фазой α_0 , что повышает надёжность его работы);
- Повышение коэффициента мощности в среднем на 4% по сравнению с предыдущим (поперечным) алгоритмом управления плечами ВИП на первой зоне регулирования;
- Разрядное диодное плечо превращает отрицательное выпрямленное напряжение в положительное в период длительности угла α_p , при этом увеличивая средневыврямленное напряжение.

Недостатки:

- Незначительное усложнение конструкции ВИП за счёт добавления разрядного диодного плеча;
- Наличие дополнительных болтовых соединений для крепления силовой шины разрядного диодного плеча.

В настоящее время разрядное диодное плечо применяется на действующих электровозах ЗЭС5К №837 и ВЛ80р №1829. На электровозе ЗЭС5К №837 установлен выпрямительно-инверторный преобразователь на тиристорах с включенным в схему разрядным диодным плечом типа ВИП4000Д.

Заключение

По результатам сравнения всех существующих способов управления ВИП на первой зоне регулирования, наиболее простым и эффективным способом является алгоритм с применением разрядного диодного плеча, включенного параллельно цепи выпрямленного тока. При таком управлении достигается наибольший коэффициент мощности электровоза (выше на 4% при сравнении с типовым) и обеспечивается токовая разгрузка тиристорных плеч преобразователя, что повышает их долговечность и надёжность работы. Такой алгоритм управления известен уже более 15 лет, однако необходимо отметить, что на сегодняшний день серийно он так и не используется на современных электровозах переменного тока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приписка подвижного состава: сайт «Фотографии железнодорожного транспорта» [Электронный ресурс]. URL: <http://pfoto-rzd.com/data.php?id=3> (Дата обращения: 26 апреля 2021).
2. Электровоз ВЛ85: Руководство по эксплуатации / Б. А. Тушканов, Н. Г. Пушкарев, Л. А. Позднякова и др. — М.: Транспорт, 1992. — 480 с.: ил., табл.
3. Богинский С. А. Повышение коэффициента мощности электровозов переменного тока за счет новой организации сетевой коммутации плеч выпрямительно-инверторного преобразователя / С. А. Богинский, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — Т. 62, № 2. — С. 166–177.

4. Власьевский С.В. Новый алгоритм управления выпрямительно-инверторным преобразователем / С.В. Власьевский, Ю.А. Басов, М.Л. Перцовский, В.В. Находкин // Электрическая и тепловозная тяга. – 1988. – №5 – С.30-31.
5. Власьевский С.В. Улучшение формы напряжения тяговой сети при работе электровазов с тиристорными выпрямителями / С.В. Власьевский, В.Г. Скорик, О.В. Мельниченко // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – №5. – С. 42-47.
6. Власьевский С.В., Мельниченко О.В. Применение разрядного диодного плеча в многозонном выпрямителе электроваза переменного тока // Вестн. Всерос. науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-та электровазостроения. 2004. No. 2. С. 127–134.
7. Мельниченко О.В. Обеспечение работоспособности электроваза в режиме тяги при аварийных режимах выпрямительно-инверторного преобразователя: монография / О.В. Мельниченко. – Иркутск: ИрГУПС, 2014. – 169 с.: ил.
8. Мельниченко О.В. Повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов электровазов переменного тока: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.09.03 / О.В. Мельниченко. – Хабаровск., 2015. – 392 с.
9. Мельниченко О.В., Цыбульский В.С. Повышение качества электрической энергии в контактной сети с целью снижения отказов электронного и силового оборудования электроваза // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. No. 3 (19). С 58–66

REFERENCES

1. Pripiska podvizhnogo sostava: sait «Fotografii zhelezнодорожного транспорта» [Registration of rolling stock: site «Photos of railway transport»]. URL: <http://pfoto-rzd.com/data.php?id=3> (Accessed 26 april 2021).
2. B. A. Tushkanov, N. G. Pushkarev, L. A. Pozdniakova i dr. Elektrovoz VL85: Rukovodstvo po ekspluatatsii [Electric locomotive VL85: Operation manual]. Moscow: Transport, 1992. – 480 p.: Ill., Tab.
3. Boginskii S. A., Mel'nichenko O. V., Lin'kov A. O. Povyshenie koeffitsienta moshchnosti elektrovozov peremennogo toka za schet novoi organi-zatsii setevoi kommutatsii plech vypryamitel'no-invertornogo preobrazovatel'ia [Increasing AC locomotive power factor by reorganizing line commutation of the RIC arms]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 166-177.
4. S.V. Vlas'yevsky, Yu.A. Basov, M.L. Pertsovsky, V.V. Nakhodkin Novyi algoritm upravleniia vypriamitel'no-invertornym preobrazovatelem [A new control algorithm for a rectifier-inverter converter]. Elektricheskaya i teplovoznaya tiaga [Electric and diesel traction]. 1988. – No. 5 – Pp.30-31.
5. S.V. Vlas'yevsky, V.G. Skorik, O.V. Mel'nichenko Uluchshenie formy napryazheniia tiagovoi seti pri rabote elektrovozov s tiristornymi vy-priamitel'iami [Improvement of the traction network voltage form during the operation of electric locomotives with thyristor rectifiers]. Vestnik VNIIZhT [Bulletin of VNIIZhT]. 2007. – No. 5. – Pp. 42-47.
6. Vlas'evskii S. V., Mel'nichenko O. V. Primenenie razryadnogo diodnogo plecha v mnogozonnom vypryamitele elektrovoza peremennogo toka [Application of discharge diode arm in alternating current electric locomotive multizone rectifier]. Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo i proektno-konstruktorskogo instituta elektrovozostroeniya [Herald of All-Russian Scientific and Research, Planning and Design Technological Institute on Electric Locomotives Building]. JSCo VEL'NII Publ., Novocherkassk, 2004, No. 2. Pp. 127-134.
7. Mel'nichenko O.V. Obespechenie rabotosposobnosti elektrovoza v rezhime tiagi pri avariinykh rezhimakh vy-priamitel'no-invertornogo preobrazovatel'ia: monografiia [Ensuring the operability of an electric locomotive in traction mode in emergency modes of a rectifier-inverter converter: monograph]. Irkutsk: IrGUPS, 2014. – 169 p.: ill.
8. Mel'nichenko O.V. Increasing the energy efficiency of traction electric drives of alternating current electric locomotives. Doctor's thesis. Khabarovsk., 2015. – 392 p.

9. Mel'nichenko O. V., Tsybul'skii V. S. Povyshenie kachestva elektricheskoi energii v kontaktnoi seti s tselyu snizheniya otkazov elektronnoho i silovogo oborudovaniya elektrovoza [Railway traction grid electric energy quality increase for locomotive electric and power equipment failure reduction]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]. IrGUPS Publ., Irkutsk, 2008, No., 3 (19). Pp. 58-66.

Информация об авторах

Григоренко Павел Владимирович – студент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: grigorenko.pv@mail.ru

Мельниченко Олег Валерьевич - д.т.н., профессор, заведующий кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olegmelnval@mail.ru

Authors

Pavel Vladimirovich Grigorenko - student of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: grigorenko.pv@mail.ru

Oleg Valerevich Melnichenko – doctor of Engineering Science, Full professor, Head of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: olegmelnval@mail.ru

Для цитирования

Григоренко П.В. Выбор алгоритма управления плечами ВИП электровоза на первой зоне регулирования [Электронный ресурс] / П.В. Григоренко, О.В. Мельниченко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1. – Режим доступа: <https://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 29.04.2021)

For citation

Grigorenko P.V., Melnichenko O.V. Vybor algoritma upravleniia plechami VIP elektrovoza na pervoi zone regulirovaniia [Selection of the algorithm for control of the arms of the RIC in the first regulation zone]. Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1. [29.04.2021]