

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗА СЕРИИ «ЕРМАК» В РЕЖИМЕ ТЯГИ

П.В. Григоренко¹, О.В. Мельниченко², А.С. Самойлова¹

¹аспирант, ИрГУПС, г. Иркутск

²д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «ЭПС», ИрГУПС, г. Иркутск

***Аннотация.** В статье рассмотрен один из существенных недостатков электровозов переменного тока 2(3,4)ЭС5К серии «Ермак» - низкая энергоэффективность, которая характеризуется коэффициентом мощности, не превышающем 0,84 в режиме тяги. Рассмотрена возможность повышения коэффициента мощности вышеуказанных электровозов за счёт замены тиристорной полупроводниковой базы выпрямительно-инверторных преобразователей на IGBT-транзисторы и реализации предлагаемого способа управления. Представлены результаты моделирования работы электровоза 2ЭС5К на 2,5 зоне регулирования в режиме тяги с тиристорными и транзисторными выпрямительно-инверторными преобразователями, полученные в среде динамического моделирования SimInTech.*

***Ключевые слова:** электровоз переменного тока, выпрямительно-инверторный преобразователь, коэффициент мощности, качество электроэнергии, IGBT-транзисторы, моделирование, SimInTech.*

В настоящее время на Восточном полигоне эксплуатируется свыше 1800 электровозов переменного тока 2(3,4)ЭС5К серии «Ермак» [1]. Данные электровозы являются опорой отечественной экономики, так как играют ключевую роль в обеспечении перевозок грузов широкой номенклатуры. В связи с этим повышение эффективности их эксплуатации всегда было необходимым для увеличения рентабельности грузоперевозок.

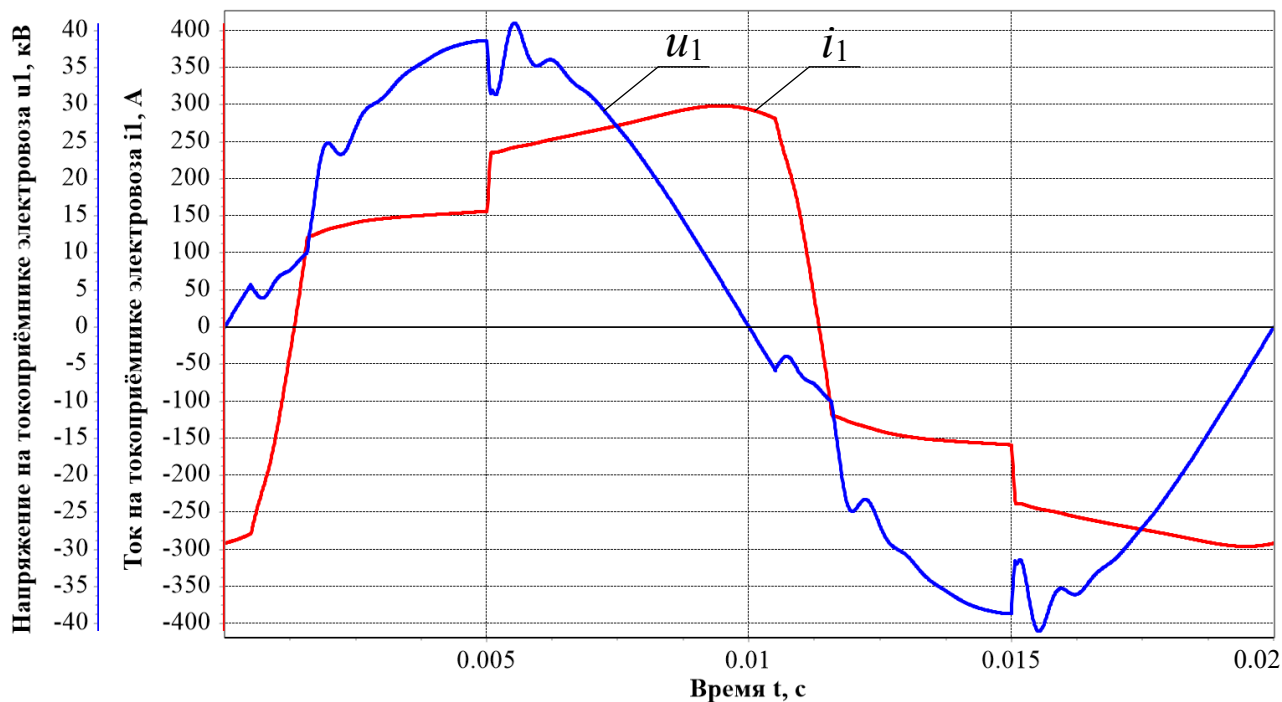
Одним из существенных недостатков электровозов переменного тока 2(3,4)ЭС5К серии «Ермак» является их низкая энергоэффективность, обусловленная высоким потреблением реактивной мощности, не используемой на тягу поездов. Наличие реактивной мощности, в свою очередь, связано с индуктивностью оборудования электровоза (сглаживающие реакторы и тяговые

двигатели), с отсутствием возможности запираеть тиристоры, на базе которых выполнены выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП), а также с наличием искажений напряжения и тока на токоприёмнике, вызванных распределённой ёмкостью контактной сети и коммутацией тиристоров. Коэффициент мощности (K_m) электровозов с тиристорными ВИП, определяемый как отношение потребления активной мощности к полной, в среднем составляет 0,705 и не превышает 0,84 в режиме тяги [2, 3], а коэффициент гармонических составляющих напряжения (K_u) на токоприёмнике может достигать 18 % [4], при допустимом по ГОСТ 32144-2014 значении $K_u = 5$ %. Низкий коэффициент мощности электровозов переменного тока с тиристорными ВИП становится одной из причин их замены на электровозы с асинхронными тяговыми двигателями. Коэффициент мощности электровоза с асинхронными тяговыми двигателями составляет 0,98-0,99, а коэффициенты гармонических составляющих напряжения (K_u) и тока (K_i) составляют 1,5-3 % и 4,5-15 %, соответственно [5-7].

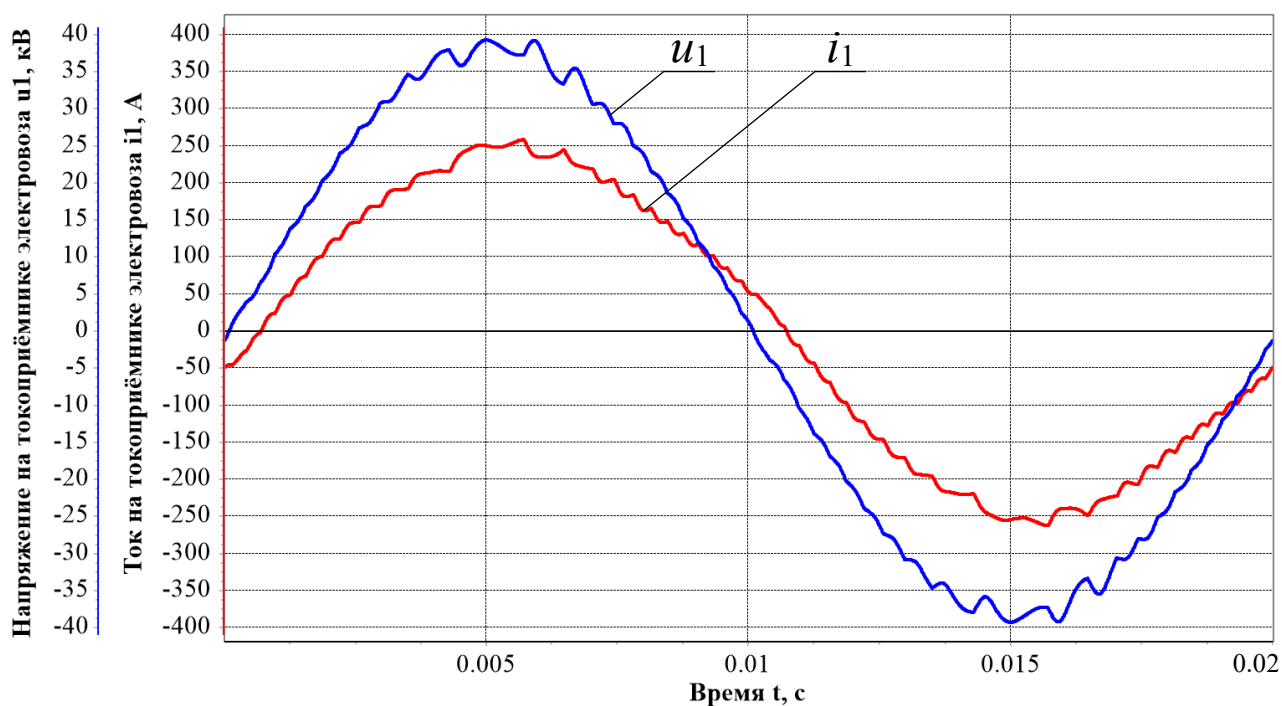
На сегодняшний день появилась возможность преодолеть указанный недостаток электровозов переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями за счёт замены тиристорной полупроводниковой базы ВИП на IGBT-транзисторы [8, 9] и реализации предлагаемого авторами способа управления ВИП, повышающего коэффициент мощности практически до уровня электровозов с асинхронными тяговыми двигателями [10, 11]. Способ управления заключается в квантовании сигнала при изменении напряжения управления зонами с целью разнесения управления плечами ВИП электровоза в полупериоде. Таким образом происходит повышение коэффициента мощности электровоза, улучшение формы тока на токоприёмнике и снижение выбросов ЭДС самоиндукции обмоток тяговых трансформаторов. На рисунке 1 представлены результаты моделирования работы электровоза переменного тока 2ЭС5К на 2,5 зоне регулирования в режиме тяги с тиристорными и транзисторными ВИП.

При моделировании заданы следующие параметры модели тяговой сети и электровоза: напряжение тяговых подстанций при двухстороннем питании $U_{ТП} = 27,5$ кВ; длина межподстанционной зоны $l_{ТП} = 40$ км; расстояние электровоза от тяговой подстанции $r_{ТП} = 20$ км; электровоз – 2ЭС5К серии «Ермак»; наименьший допустимый угол открытия тиристоров ВИП в начале каждого полупериода напряжения $\alpha_0 = 9$ эл. град.; регулируемый угол открытия

тиристоров ВИП $\alpha_p = 90$ эл. град.; ток ВИП $I_d = 1620$ А; зона регулирования – 2,5.
 Моделирование выполнено в среде динамического моделирования SimInTech.



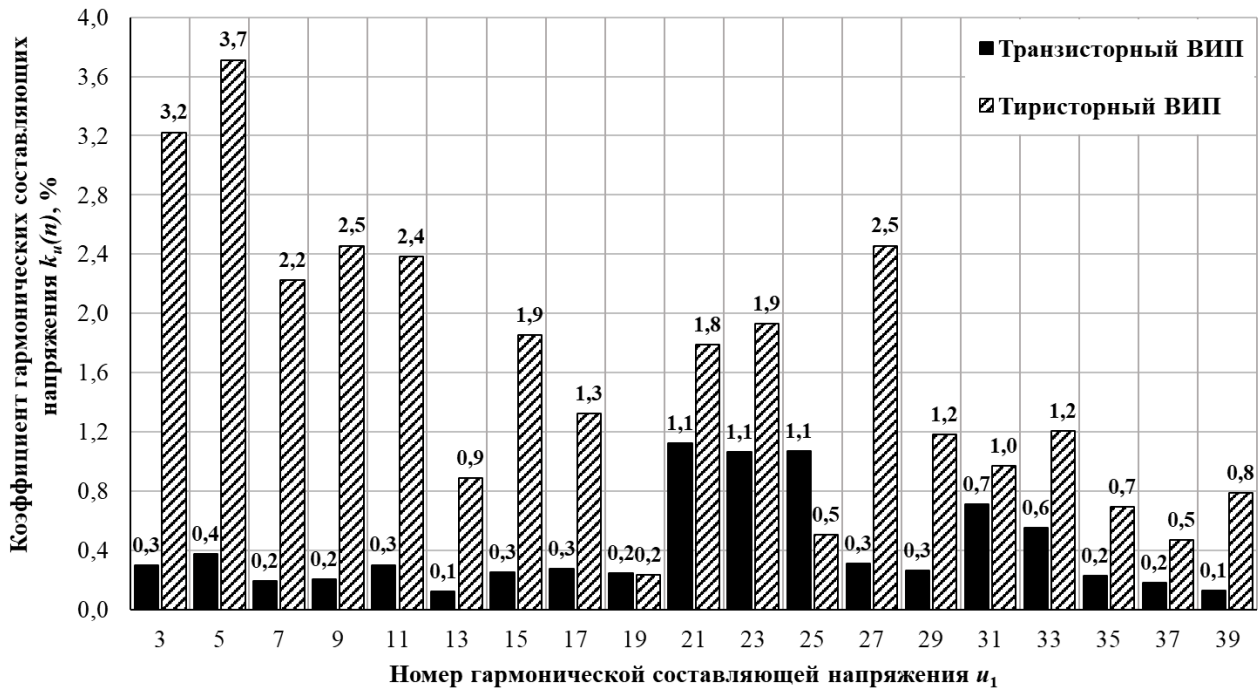
а)



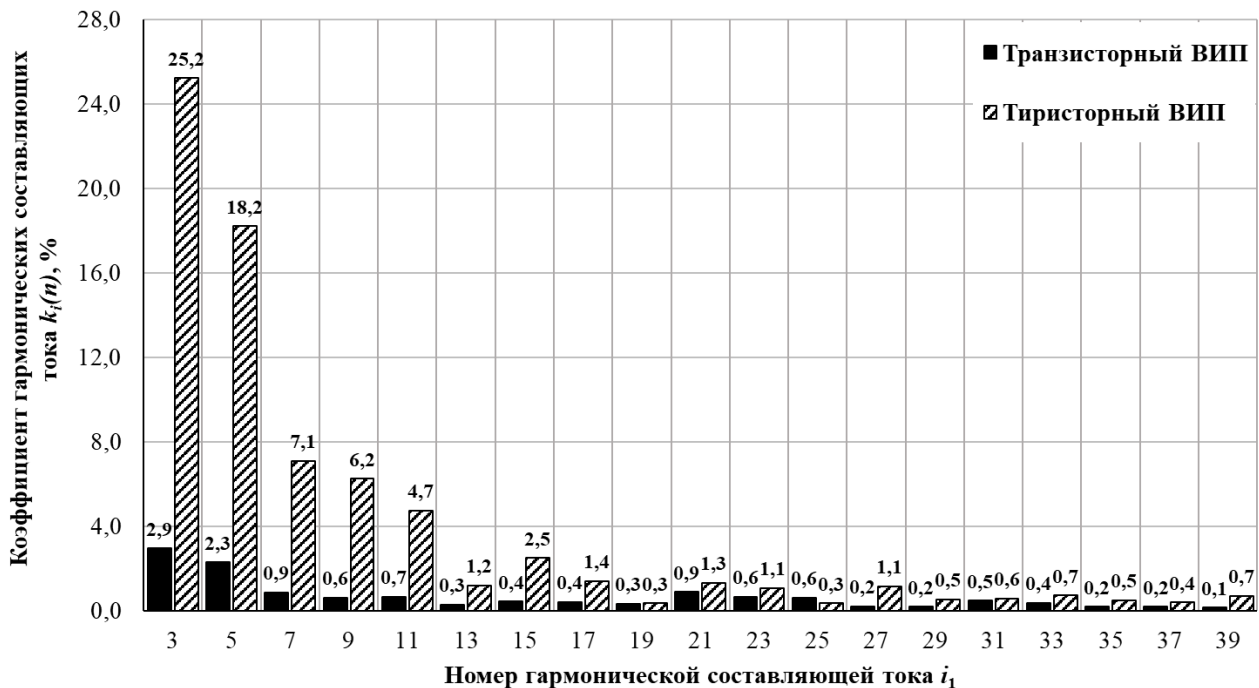
б)

Рисунок 1 – Напряжение u_1 и ток i_1 на токоприёмнике электровоза переменного тока 2ЭС5К при работе на 2,5 зоне регулирования с тиристорными (а) и транзисторными ВИП (б)

На рисунке 2 представлены гармонические составляющие напряжения u_1 (а) и тока i_1 (б) на токоприёмнике электровоза переменного тока 2ЭС5К при работе на 2,5 зоне регулирования с тиристорными и транзисторными ВИП.



а)



б)

Рисунок 2 – Гармонические составляющие напряжения u_1 (а) и тока i_1 (б) на токоприёмнике электровоза переменного тока 2ЭС5К при работе на 2,5 зоне регулирования с тиристорными и транзисторными ВИП

В таблице 1 представлены показатели, полученные при моделировании работы электровоза переменного тока 2ЭС5К с тиристорными и транзисторными ВИП.

Таблица 1 – Показатели, полученные при моделировании работы электровоза переменного тока 2ЭС5К с тиристорными и транзисторными ВИП

Тип ВИП	Показатели								
	U _{тп} , кВ	U ₁ , кВ	I ₁ , А	K _м	K _ц , %	K _г , %	S, кВА	Q, кВАр	P, кВт
Тиристорный	27,5	26,74	225	0,78	8,07	33,08	7212,5	4514	5625,3
Транзисторный	27,5	27,16	175	0,99	2,29	4,24	5843,8	646,9	5807,9

Выводы:

- Отечественные электровозы переменного тока с тиристорными ВИП и коллекторными тяговыми двигателями 2(3, 4)ЭС5К серии «Ермак» выполняют значительную часть работы по перевозке грузов по Восточному полигону, однако при этом имеют существенный недостаток – низкий коэффициент мощности, не превышающий 0,84 в режиме тяги, обусловленный углом отставания тока от напряжения на токоприёмнике и гармоническими составляющими напряжения и тока, достигающими в режиме тяги, на примере 2,5 зоны регулирования, 8,07 % и 33,08 %, соответственно. Этот недостаток затрудняет внедрение новых технологий, например, таких как «Виртуальная сцепка»;

- Замена тиристорной полупроводниковой базы ВИП на IGBT-транзисторы и реализация предлагаемого способа управления позволит повысить коэффициент мощности электровоза переменного тока 2(3, 4)ЭС5К серии «Ермак» в режиме тяги до 0,99 и значительно снизить гармонические составляющие напряжения и тока на токоприёмнике, на примере 2,5 зоны регулирования, до 2,29 % и 4,24 %, соответственно;

- Отечественные электровозы переменного тока 2(3, 4)ЭС5К серии «Ермак» при применении ВИП на базе IGBT-транзисторов могут сравняться с электровозами с асинхронными тяговыми двигателями по коэффициенту мощности и показателям качества электроэнергии на токоприёмнике.

Список использованных источников

1. Электровоз 2ЭС5К «Ермак» отмечает двадцатилетие // Газета «Гудок» [сайт] URL: <https://gudok.ru/content/tekhnologii/mechengeering/1687599/> (дата обращения: 03.03.2025).
2. Мамошин Р.Р. Энергетика системы переменного тока // Железнодорожный транспорт. 1987. № 9. С. 69–70.
3. Тихменев Б.Н., Кучумов В.А. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. М.: Транспорт, 1988. 311 с
4. Клинова О.А. Внутрисистемный учет электрической энергии и контроль ее качества на электровозах переменного тока: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Комсомольск-на-Амуре, 2008. 149 с.
5. Зарифьян А.А., Колпахчян П.Г. Экспериментальное исследование энергетической эффективности асинхронного тягового привода электровозов при изменяющейся нагрузке // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – Вып. 1. – С. 77-92. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-77-92
6. Зарифьян А.А., Евстафьев А.М. Показатели качества потребления энергии в коллекторном и асинхронном тяговых приводах электровозов переменного тока // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2023. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 987–998. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-987-998
7. Бурков А.Т. Режимы электротяговой сети при эксплуатации электровозов ВЛ-80р и УТУ-1 / А.Т. Бурков, М.М. Мирсаитов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – Т. 13, № 2(47). – С. 146-160.
8. Новый выпрямительно-инверторный преобразователь для тягового подвижного состава переменного тока с повышенными энергетическими характеристиками в режиме тяги / Д.А. Яговкин, О.В. Мельниченко, А.Ю. Портной, С.Г. Шрамко // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 3. – С. 46-51.
9. Знаенок В.Н. Повышение энергетических показателей электровозов переменного тока в тяжеловесном движении / В.Н. Знаенок, А.О. Линьков // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 2(12). – С. 1-7.
10. Разработка способа разнесенного управления транзисторными тяговыми преобразователями электровоза на первой зоне регулирования выпрямленного напряжения / П.В. Григоренко, О.В. Мельниченко, А.Ю. Портной, А.С. Самойлова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21, № 1. – С. 252-264. – DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-252-264.
11. Повышение качества электроэнергии на токоприемнике электровоза переменного тока с транзисторными выпрямительно-инверторными преобразователями в режиме тяги / П.В. Григоренко, О.В. Мельниченко, А.Ю. Портной, А.С. Самойлова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4(64). – С. 42-54. – DOI: 10.20291/2079-0392-2024-4-42-54.