

А.П. Куцый, П.Н. Коношанов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ УСТАНОВОК ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ И ОДНОФАЗНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ТЕРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУЗОНАПРЕЖЕННЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 25 КВ

Аннотация. *Наличие источников реактивной мощности в системах тягового электроснабжения железных дорог 25 кВ является одной из основных причин снижения пропускной способности, падения напряжения на шинах тяговых подстанций и на токоприемниках электроподвижного состава. В работе проанализирована эффективность применения устройств параллельной компенсации реактивной мощности и применение однофазных статических тиристорных компенсаторов для участка Восточно-Сибирской железной дороги с резкопеременным характером движения.*

Ключевые слова: *компенсация реактивной мощности, система тягового электроснабжения, ПК «КОРТЭС».*

A.P. Kutsyi, P.N. Konoshanov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

THE EFFECT OF PARALLEL COMPENSATION INSTALLATIONS AND SINGLE-PHASE STATIC THYRISTOR COMPENSATORS ON THE ENERGY EFFICIENCY OF LOAD-LOADED ELECTRIFIED RAILWAY SECTIONS OF ALTERNATING CURRENT 25 KV

Abstract. *The presence of reactive power sources in 25 kV traction power supply systems of railways is one of the main reasons for the decrease in capacity, voltage drop on the tires of traction substations and on current collectors of electric rolling stock. The paper analyzes the effectiveness of using devices for parallel reactive power compensation and the use of single-phase static thermistor compensators for a section of the East Siberian Railway with a sharply variable motion pattern.*

Keywords: *reactive power compensation, traction power supply system, PC «KORTES».*

Введение

Электровоз переменного тока характеризуется низкими энергетическими характеристиками. Тяговый ток контактной сети является несинусоидальным со значительной величиной реактивной составляющей. Угловой сдвиг между током и напряжением электровоза $\varphi = 42^{\circ} - 45^{\circ}$ электрических. Электровоз переменного тока 25 кВ с тяговыми двигателями постоянного тока 1,5 кВ имеет однофазный 2-х полупериодный выпрямитель. Соответственно потребление реактивной мощности в системе тягового электроснабжения составляет (90 - 100)% от потребляемой полезной активной мощности электровоза.

Потребление мощности электровозами в межподстанционной зоне имеет переменный характер и определяется графиком движения поездов. Межподстанционные зоны характеризуются значительным реактивным потреблением и переменным характером потребления [1,2].

Описание эксперимента

Для проведения эксперимента и дальнейшего анализа использования устройств параллельной компенсации реактивной мощности и однофазных статических тиристорных компенсаторов на постах секционирования проведем моделирование графика движения поездов двухпутного участка Восточно-Сибирской железной дороги.

В четном направлении выбран пакетный график движения с поездами массой 7100 тон и интервалом движения 8 минут. В нечетном направлении принят среднестатистический поток поездов. Моделирование будет осуществляться в программном комплексе «КОРТЭС».

По итогам моделирования рассматриваемого участка, недопустимые значения отклонения напряжения были выявлены на двух межподстанционных зонах с наличием постов секционирования. Для удобства отображения результатов будем использовать следующие обозначения подстанций и постов секционирования: ТП₁, ТП₂, ТП₃, ПС₁, ПС₂.

Эффективность использования установки параллельной компенсации на постах секционирования в середине межподстанционной зоны

Одно из направлений повышения энергоэффективности электрической тяги переменного тока 25 кВ является компенсация реактивной мощности с расположением установок параллельной компенсации в середине межподстанционной зоны на постах секционирования. Ввиду переменного характера тягового электропотребления установки параллельной компенсации должны быть ступенчатыми или плавно регулируемы. Наиболее эффективно применение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) с комплексной компенсацией реактивной мощности и фильтрации высших гармоник нечётного порядка [3-5].

На рисунке 1 приведена схема фильтрокомпенсирующего устройства.

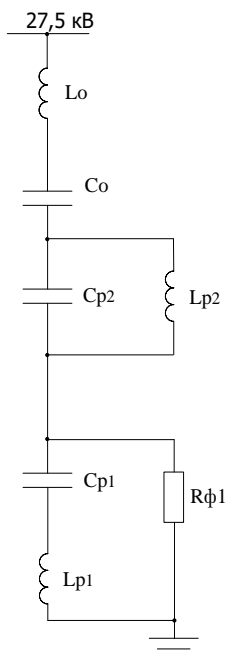


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства фильтрации и компенсации

Частотные характеристики секции ФКУ приведены на рисунке 2. Фильтровые цепи имеют две резонансные частоты 150 Гц и 250 Гц и рассчитаны на ослабление 3-ей и 5-ой гармоник тока в обмотках тяговых трансформаторов подстанций.

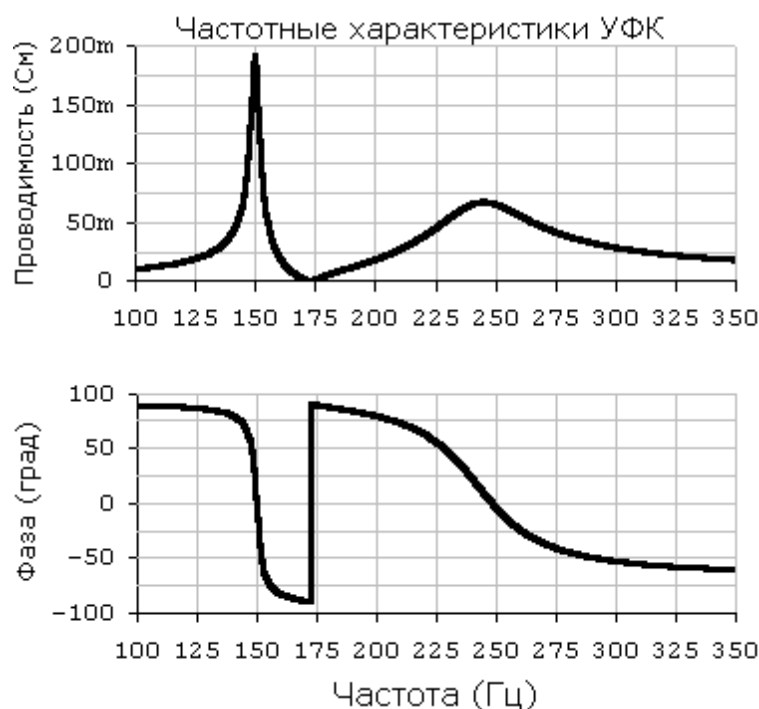


Рисунок 2 – Частотные характеристики устройства фильтрации и компенсации (УФК)

Оценка эффективности внедрения выполнена на основе подъема уровня напряжения в контактной сети в результате ее включения. Средний уровень напряжения на токоприемнике с ФКУ приблизительно определяется по формуле

$$U_{\text{ср.ФКУ}} = U_{\text{ср.без ФКУ}} + \frac{U_{\text{ФКУ}}}{2}, \quad (1)$$

где $U_{\text{ср.без ФКУ}}$ – среднее напряжение на токоприемнике ЭПС, которое определяется согласно следующей формулы

$$U_{\text{ср.без ФКУ}} = \frac{(U_{\text{ТПС}} - U_{\text{З мин}})}{2}, \quad (2)$$

где $U_{\text{ТПС}}$ -усредненный уровень напряжения на шинах т/пс межподстанционной зоны;

$U_{\text{З мин}}$ -минимальный трехминутный уровень напряжения на токоприемнике середине межподстанционной зоны;

$$U_{\text{ТПС}} = \frac{(U_{\text{ТПС1}} + U_{\text{ТПС2}})}{2}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ТПС1}}, U_{\text{ТПС2}}$ -средний уровень напряжения на шинах подстанций, кВ;

$U_{\text{ФКУ}}$ -уровень, на которое поднимается напряжение в точке ФКУ, кВ.

Таким образом, по произведенному расчету программного комплекса «КОРТЭС» определены напряжения на шинах постов секционирования в точке установки ФКУ, и рассчитана эффективность внедрения этих устройств на данных межподстанционных зонах. Результат расчета представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение эффективности включения ФКУ на постах секционирования

МПЗ	Средний уровень напряжения на шинах т/пс по расчету КОРТЭС т/пс1 и т/пс2, кВ		Минимальный уровень напряжения на токоприемнике 3 мин, кВ	Средний уровень напряжения на токоприемнике, U ср., кВ	Среднее потребление активной эл.энергии МПЗ Wа из расчета КОРТЭС (левое + правое плечо), кВт*ч	Средний суммарный ток всех фидеров обеих т/пс по мощности нагрузки, Iср, А	Длина МПЗ, км	Потери эл. энергии в к/сети в среднем ΔWкс, кВт* час	Экономия эл.энергии, кВт*ч
	Без ФКУ	С ФКУ							
ТП ₁ -ТП ₂ , ПС ₁	Без ФКУ	26,81 26,28	19,46	23,0025	61163,00	2659	43	1729,09	24,54
	С ФКУ	26,81 26,28						19,79	
ТП ₂ -ТП ₃ , ПС ₂	Без ФКУ	26,01 26,62	20,51	23,4125	54122,00	2312	41	1246,11	24,64
	С ФКУ	26,01 26,62						20,98	
Суммарная экономия электроэнергии									49,18

Эффективность использования однофазных статических тиристорных компенсаторов на посту секционирования в середине межподстанционной зоны со стабилизацией напряжения

Однофазный статический тиристорный компенсатор (ОСТК) является аналогом фильтркомпенсирующего устройства, но обладает рядом полезных свойств.

Наиболее эффективно использование ОСТК с плавным регулированием реактивной мощности, стабилизацией напряжения, так же, как и ФКУ, в середине МПЗ на посту секционирования и фильтрацией высших гармоник напряжения [6, 7].

Однако ОСТК обеспечивает более эффективную стабилизацию напряжения 25 кВ в середине МПЗ на ПСК, снижает ток в контактной сети, тяговых трансформаторах и сети внешнего электроснабжения и потери активной мощности во всех элементах электроснабжения тяги поездов и снижает уровень высших гармоник.

На рисунке 3 представлена схема включения однофазного статического тиристорного компенсатора на межподстанционной зоне.

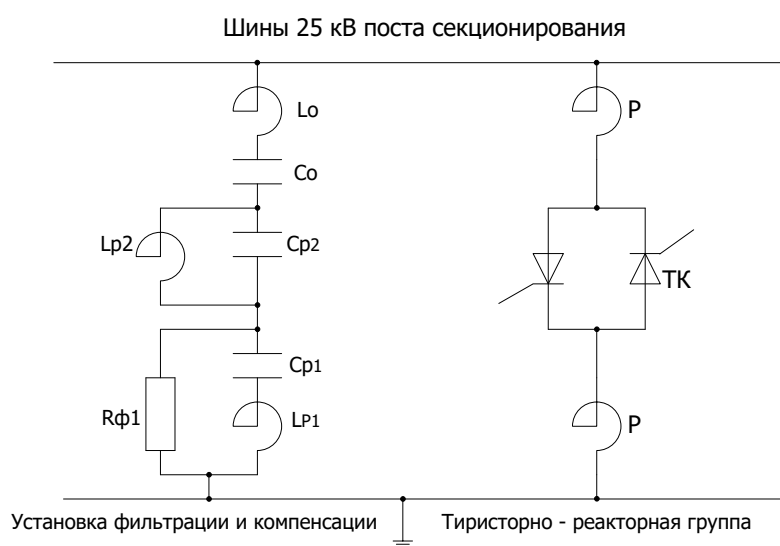


Рисунок 3 - Схема включения ОСТК на межподстанционной зоне

Выбор мест установки ОСТК выполнен на тех же межподстанционных зонах, что и ФКУ. Произведен расчет эффективности его установки. Принцип расчета эффективности идентичен расчету для ФКУ. Результаты представлены в таблице 2

Таблица 2 - Сравнение эффективности включения ОСТК кВ на постах секционирования

МПЗ	Средний уровень напряжения на шинах т/пс по расчету КОРТЭС т/пс1 и т/пс2, кВ		Минимальный уровень напряжения на токоприемнике 3 мин. по расчету КОРТЭС, кВ	Средний уровень напряжения на токоприемнике, U ср., кВ	Среднее потребление активной энергии МПЗ Wа из расчета КОРТЭС (левое + правое плечо), кВт*ч	Средний суммарный ток всех фидеров обеих т/пс по мощности нагрузки, I ср., А	Длина МПЗ, км	Потери эл. энергии в к/сети в среднем ΔWкс, кВт. час	Экономия эл. энергии, кВт.ч
	Без ОСТК	С ОСТК							
ТП1-ТП2, ПС1	Без ОСТК	26,81	19,46	23,0025	61163,00	43	1688,88	153,16	
		26,28							
	С ОСТК	26,81	20,49	25,5175					2659
		26,28							2601
ТП2-ТП3, ПС2	Без ОСТК	26,01	20,51	23,4125	54122,00	41	1276,51	150,54	
		26,62							
	С ОСТК	26,01	21,86	25,0875					2312
		26,62							2247
Суммарная экономия электроэнергии									303,7

Заключение

В результате проведенных расчетов выявлено, что использование стандартных фильтрокомпенсирующих устройств на загруженных межподстанционных зонах обладает низкой эффективностью в части экономии электроэнергии и повышения напряжения.

Таким образом, для системы тягового электроснабжения с резко переменным характером тока значительной величины более эффективно использование однофазного статического тиристорного компенсатора в середине межподстанционной зоны на посту секционирования со стабилизацией напряжения 25 кВ и снижения уровня высших гармоник [8].

Применение ОСТК позволяет экономить свыше 150 кВт на каждую МПЗ и значительно повысить напряжение на токоприемнике локомотива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 тонн // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». 2022. № 2(16)
2. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой 7100 тонн. // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». 2022. № 2(16)
3. Куцый А.П. Снижение несимметрии и несинусоидальности в линиях электропередач, питающих тяговые подстанции // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 1. С. 692-696.
4. Черепанов А.В. Тихомиров В.А., Куцый А.П. Снижение несимметрии и гармонических искажений в районах электроснабжения нетяговых потребителей. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2017. - №3 (55). - С. 145-151.

5. Черепанов А.В., Куцкий А.П. Использование управляемых источников реактивной мощности в системах тягового электроснабжения. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9(116). С. 103-110.

6. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Куцкий А.П. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных установками компенсации реактивной мощности//Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 1 (57). С. 72-79.

7. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2018615172, 12.03.2018 Имитационная динамическая модель системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ// Ушаков В.А., Куцкий А.П., Черепанов А.В.

8. Арсентьев Г.О., Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Куцкий А.П., Нгуен В.Х., Черепанов А.В., Чан З.Х., 2019. Управление режимами систем электроснабжения железных дорог на основе технологий интеллектуальных сетей (SMART GRID). Иркутск: ИрГУПС, pp: 412.

REFERENCES

1. Kutsyi A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim - Kirenga section to provide traction for twin electric rolling stock weighing 14200 tons // Electronic scientific journal "Young Science of Siberia". 2022. No. 2(16)

2. Kutsyi A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the capacity of the Yakurim - Kirenga section to ensure the timetable of trains with a maximum weight of 7,100 tons. // Electronic scientific journal "Young Science of Siberia". 2022. № 2(16)

3. Kutsyi A.P. Reduction of asymmetry and non-sinusoidality in power transmission lines feeding traction substations // Transport infrastructure of the Siberian region. 2018. Vol. 1. pp. 692-696.

4. Cherepanov A.V. Tikhomirov V.A., Kutsyi A.P. Reduction of asymmetry and harmonic distortions in areas of power supply to non-power consumers. Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2017. - №3 (55). - Pp. 145-151.

5. Cherepanov A.V., Kutsyi A.P. The use of controlled reactive power sources in traction power supply systems. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2016. Vol. 20. No. 9(116). pp. 103-110.

6. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Kutsyi A.P. Modeling of non-sinusoidal modes of traction power supply systems equipped with reactive power compensation units//Modern technologies. System analysis. Modeling. 2018. No. 1 (57). pp. 72-79.

7. Certificate of registration of the computer program RUS 2018615172, 03/12/2018 Simulation dynamic model of a 25 kV AC traction power supply system// Ushakov V.A., Kutsyi A.P., Cherepanov A.V.

8. Arsentiev G.O., Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Kutsyi A.P., Nguyen V.H., Cherepanov A.V., Chan Z.H., 2019. Management of modes of railway power supply systems based on SMART GRID technologies. Irkutsk: IrGUPS, pp: 412.

Информация об авторах

Куцкий Антон Павлович – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru.

Коношанов Петр Николаевич – студент группы СОД.4-23-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru.

Information about the authors

Kutsyi Anton Pavlovich – senior student of the Department of «Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru .

Konoshanov Piotr Nikolaevich – student of the SOD.4-23-1 group, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsyi_ap@irgups.ru .