

УДК 621.331

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Кузнецов Владислав Александрович,**

аспирант,

Российский Университет Транспорта

vladnvs@mail.ru

### Аннотация

В статье рассматриваются проблемы искажения качества электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог переменного тока, вызванные увеличением грузопотока и использованием преобразовательной техники. Основными показателями качества являются несинусоидальность и несимметрия напряжения, которые негативно влияют на работу электрооборудования. Для решения этих проблем применяются симметрирующие трансформаторы, компенсирующие устройства (КУ) различных типов (ПКУ, ДКУ, ПДКУ, МКУ, ФКУ) и современные методы активной фильтрации. Особое внимание уделено гибридным активно-пассивным схемам, сочетающим преимущества резонансных и активных фильтров. Анализируются возможности применения устройств на основе мощных электронных компонентов (IGBT, IGCT и др.) для снижения гармонических искажений в тяговых сетях.

**Ключевые слова:** качество электроэнергии, гармонические искажения, тяговая сеть, компенсирующие устройства, активная фильтрация

## MODERN METHODS OF REDUCING HARMONIC DISTORTIONS IN AC RAILWAY TRACTION NETWORKS.

**Kuznetsov Vladislav Aleksandrovich,**

graduate student

Russian University of Transport

vladnvs@mail.ru

### ABSTRACT

The article examines the issues of power quality distortion in AC railway power supply systems caused by increasing freight traffic and the use of converter technology. The main quality indicators are voltage non-sinusoidality and asymmetry, which negatively affect electrical equipment. To address these problems, symmetrical transformers, compensating devices (CU) of various types (PKU, DKU, PDKU, MKU, FKU), and modern active filtering methods are used. Special attention is paid to hybrid active-passive schemes combining the advantages of resonant

and active filters. The possibilities of applying devices based on high-power electronic components (IGBT, IGCT, etc.) to reduce harmonic distortions in traction networks are analyzed.

---

**Keywords:** power quality, harmonic distortions, traction network, compensating devices, active filtering

---

При эксплуатации электровоза переменного тока происходит значительное искажение показателей электрической энергии, отвечающих за её качество. Для нормальной работы электрооборудования ЭПС очень важно, чтобы показатели качества электрической энергии соответствовали нормам, в противном случае происходит снижение качественных показателей потребителей энергии, установленных на электровозах.

С течением времени естественно растёт грузопоток, проходящий через железнодорожный транспорт, соответственно растёт и нагрузка на контактную сеть. С увеличением установки преобразовательной техники на ЭПС растёт и неравномерность фазной загрузки тяговых подстанций[1]. Вследствие этого падает качество электроэнергии на электровозе, устройствах тягового и нетягового электроснабжения, а также на потребителях, которые запитываются от системы первичного электроснабжения железных дорог.

Компания ОАО «РЖД» регулярно совершенствует систему электроснабжения, вводит в эксплуатацию новые устройства, которые обеспечивают поддержание на нормативном уровне значений несимметрии, несинусоидальности, а также гарантируют требуемый объём грузовых и пассажирских перевозок. Необходимо, чтобы принимаемые решения обеспечивали решение многоцелевых задач, таких как:

1. Поддержание качества электрической энергии на токоприёмнике электровоза и внешней электрической сети на уровне, соответствующем нормативным значениям.
2. Соблюдение электромагнитной совместимости тяговой сети с системой внешнего электроснабжения и сетями связи, автоматики и телемеханики.
3. Соблюдение условий для эксплуатации смежных устройств, имеющих точное электронное и чувствительное оборудование.

Для компании ОАО «РЖД», которая является мощным потребителем электроэнергии, первостепенными показателями качества электроэнергии являются несинусоидальность и несимметрия напряжения. В связи с этим для повышения показателей качества несимметрии в сетях тягового электроснабжения используют симметрирующие тяговые трансформаторы и симметрирующие приставки к тяговым трансформаторам, которые не обладают симметрирующим эффектом.[7] Для повышения показателей несинусоидальности напряжения на электрифицированных участках переменного тока применяют типовые компенсирующие устройства (КУ), а также увеличивают их функционал. [2,С.6]. Используются КУ следующих типов:

1. ПКУ – помехоподавляющее компенсирующее устройство.
2. ДКУ – демпфирующее компенсирующее устройство.
3. ПДКУ – гибрид помехоподавляющего и демпфирующего компенсирующих устройств.
4. МКУ – многофункциональное компенсирующее устройство.
5. ФКУ – фильтр-компенсирующее устройство.

[5,С.52].

Таблица 1 содержит данные значений гармонических составляющих спектра тока тягового трансформатора на стороне 27,5 кВ, в результате которых происходит изменение синусоидальности напряжения в точке присоединения на уровне 110 кВ, расположенной на

ЛЭП вблизи тяговой подстанции, выше нормативного уровня (ГОСТ 32144-2013) по коэффициенту  $n$ -й гармонической составляющей токов и напряжений. Гармонические составляющие тока фидера взяты из предположения среднеквадратичной суммы высших гармонических составляющих токов секций диодных или тиристорных электровозов (без состава) для гармоник выше пятой, а расчётный нагрузочный ток одной секции восьмиосного электровоза – 150 А. Данные значения приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Уровни гармонических составляющих токов фаз тягового трансформатора на уровне 27,5 кВ, способные вызвать искажение напряжения в соответствии с ГОСТ 13109-97 в точке общего присоединения на уровне 110 кВ, расположенной вблизи ТП, при различной длине одноцепной ЛЭП 110 кВ, и гармонические составляющие тягового тока одной секции диодного (тиристорного) электровоза. [6]

Номер из гармоник и $n$	Ток к фазы ну тягового из трансформатора во $I_n$ , А , при он длине ну $l$ , км, одноцепной на ЛЭП и 110 кВ				Гармонические к составляющие к тягового к электровоза на $I$ , А
	L=150, км	L=100, км	L=50, км	L=10, км	
3	17,670	27.71	56.83	286.50	25.5
5	9,77	17,26	38.22	185.09	13.1
7	3,52	7.35	18.18	90,76	5
9	0,67	1,89	5,44	28,67	3,5
11	1.42	2,95	10.50	59,18	2.3
13	1,29	1.16	5,79	35.26	1,6
15	1,08	0,14	1,32	8,76	1.2
17	0,20	0.35	2.64	19.38	0.9
19	0.15	0.28	1.69	13,90	0.71
21	0,08	0,14	0,67	6.30	0,54
23	0.15	0,27	1,05	1 1,50	0.4
25	0,14	0.27	1,81	10,59	0.34
27	0,07	0,13	0,30	4.90	0.28
29	0,13	0,24	0.39	8,44	0,25
31	0,12	0.23	0.24	7.68	0.23
33	0,07	0,13	0,06	4.01	0,21
35	0,06	0.13	0.06	.3,78	0.19
37	0,11	0.22	0,10	6.07	0.18
39	0,06	0,13	0,06	3,39	0,16

Использование новых фильтр-компенсирующих установок блочного типа (УФК), разработанных компанией ОАО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», с компенсацией реактивной мощности понижает уровень низкочастотных гармонических составляющих напряжения (до 13-й гармоники) в ТС и СВЭ. [4,С.43]. Комплексное применение технических средств для



- последовательные (рисунок 2, б);
- последовательно-параллельные (рисунок 2, в);
- гибридные (рисунок 2, г).

В этих устройствах происходит объединение резонансных и активных фильтров. При компенсации гармонических составляющих токов нелинейной нагрузки и уменьшению искажений напряжения в питающей сети есть возможность применения параллельных активных фильтров, но не в тех случаях, когда питание нагрузки происходит искажённым напряжением, потому что в этом случае работа этих фильтров будет не так эффективна. При искажении напряжения на нагрузке лучше справляются последовательные активные фильтры, они ликвидируют искажения питающего напряжения путём подачи в сеть противофазных гармоник напряжения[3]. Если рядом будут находиться пассивные фильтры, то это также повысит эффективность работы последовательных активных фильтров.

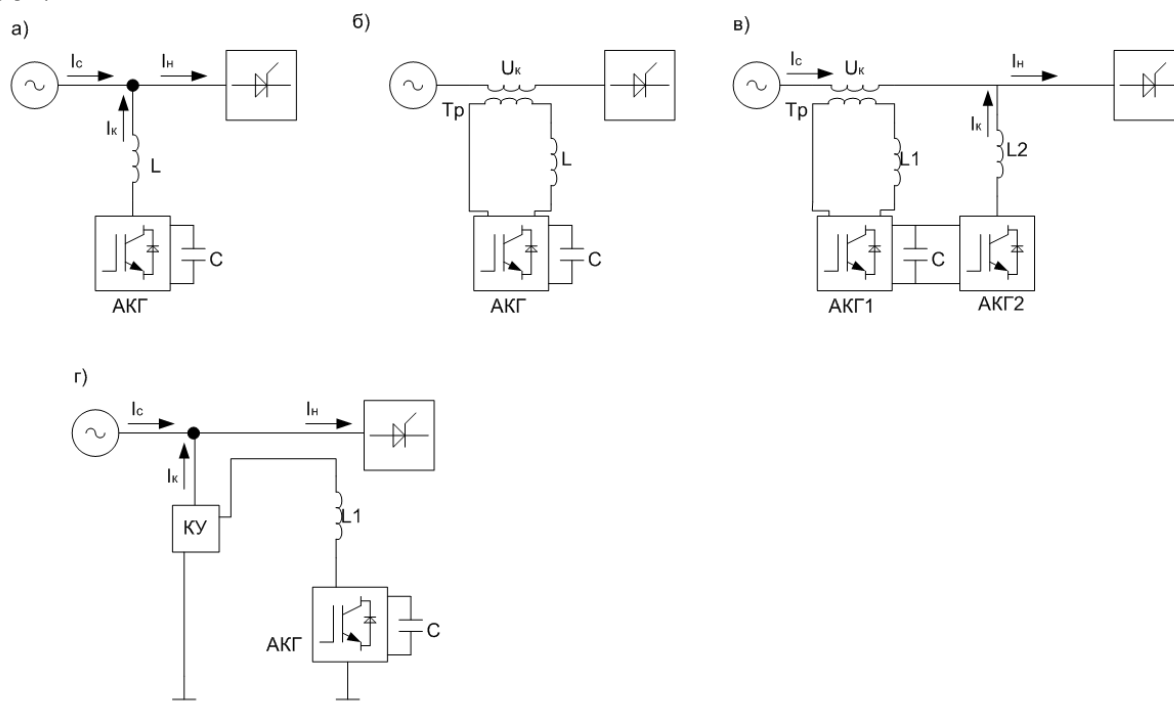


Рисунок 2- Разновидности и схем он активной ну фильтрации[6]

Исходя из вышеуказанных результатов, можно сказать, что использование одних активных фильтров при больших мощностях и напряжениях малоэффективно и нецелесообразно. Намного лучшего результата, и с точки зрения экономики, можно добиться применением активно-пассивных гибридных схем, основой для которых могут быть использованы действующие установки параллельной компенсации.

### Список литературы:

1. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р. Тяговые подстанции. М. : Транспорт, 1986. 319 с.
2. Бородулин Б.М., Герман Л.А., Николаев Г.А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. М:Транспорт,1983. 177с.
3. Герман Л.А., Серебряков А.С. Снижение потерь электроэнергии при помощи установок компенсации реактивной мощности на посту секционирования тяговой сети переменного тока. Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2019. Т. 78. №5. С. 297-302.

4. Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки ёмкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог. ФГБОУ «Учено-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2015. 316 с.
5. Герман Л.А., Серебряков А.С., Ермоленко Д.В. Установки поперечной емкостной компенсации с фильтрацией и демпфированием высших гармоник в тяговых сетях переменного тока. Вестник ВНИИЖТ 1/2014. с47-54.
6. Ермоленко Д.В. Повышение электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения с тиристорным электроподвижным составом. Диссертация на соиск. уч. степ. канд. тех. Наук. М. : 1991. 247с.
7. Сташков И.А. Многофункциональные фильтрокомпенсирующие устройства для повышения качества электроэнергии в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой. Диссертация на соиск. уч. степ. канд. тех. Наук. : 2016. 144с.

**References:**

1. Bey Yu.M., Mamoshin R.R. Traction substations. Moscow: Transport, 1986. 319 p.
2. Borodulin B.M., German L.A., Nikolaev G.A. Capacitor units of electrified railways. Moscow: Transport, 1983. 177 p.
3. German L.A., Serebryakova A.S. Reduction of Electric Power Losses Using Reactive Power Compensation Units at the AC Traction Network Sectionalization Post. Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. 2019. Vol. 78. No. 5. P. 297-302.
4. Germa L.A., Serebryakova A.S. Adjustable capacitive compensation units in railway traction power supply systems. Federal State Budgetary Educational Institution "Scientific and Methodological Center for Education in Railway Transport". 2015. 316 p.
5. Germa L.A., Serebryakova A.S., Ermoolenko D.V. Transverse capacitive compensation units with filtering and damping of higher harmonics in AC traction networks. Vestnik VNIIZhT 1/2014. pp. 47-54.
6. Ermoolenko D.V. Improving the electromagnetic compatibility of traction power supply systems with thyristor electric rolling stock. Dissertation for the dissertation degree of Cand. Sci. (Tech. Sciences). Moscow: 1991. 247 p.
7. Stashkov I.A. Multifunctional filter compensating devices for improving the quality of electricity in electric power systems with traction load. Dissertation for a PhD in engineering. Science: 2016. 144 p.