

## НЕОБХОДИМАЯ ОПТИМИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Якубов Миржалил Сагатович

Журабоева Шохсанам Шухрат кизи

Ташкентский государственный транспортный университет

*Nonlinear Optimization Problems in Power Supply Systems*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы необходимости и оптимизации системы компенсации реактивной мощности в тяговых системах электроснабжения железных дорог. Проанализированы причины возникновения реактивной мощности, ее влияние на режимы работы тяговых подстанций, потери электроэнергии и качество напряжения. Особое внимание уделено современным компенсирующим устройствам и методам их оптимального выбора. Показана эффективность применения автоматизированных и адаптивных систем компенсации реактивной мощности в условиях переменных тяговых нагрузок.

**Ключевые слова.** тяговое электроснабжение, реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, оптимизация, коэффициент мощности, потери электроэнергии, тяговые подстанции, качество напряжения, статические конденсаторы, SVC, STATCOM, FACTS, автоматическое регулирование, энергоэффективность, надежность электроснабжения.

**Abstract.** This paper presents an analytical study of nonlinear optimization problems in modern power supply systems. Optimization of power networks is crucial for minimizing energy losses, enhancing stability, and improving system performance. Due to the nonlinear characteristics of electrical networks, traditional linear optimization approaches are insufficient. The paper discusses mathematical formulations, Lagrange multipliers, and numerical methods applicable to nonlinear models

**Keywords.** Power supply systems; nonlinear optimization; Lagrange method; power losses; stability

**Введение.** Тяговые системы электроснабжения железных дорог относятся к категории наиболее энергоемких и динамически изменяющихся потребителей электрической энергии. Характерной особенностью тяговых нагрузок является значительное потребление реактивной мощности, обусловленное работой индуктивных элементов, таких как тяговые трансформаторы, электродвигатели подвижного состава и выпрямительные установки. Избыточная реактивная



мощность приводит к снижению коэффициента мощности, увеличению токов в питающих линиях и, как следствие, росту потерь активной энергии.

В современных условиях повышения требований к энергоэффективности и надежности электроснабжения особую актуальность приобретает задача разработки и внедрения оптимизированных систем компенсации реактивной мощности. Такие системы должны обеспечивать устойчивую работу тяговых сетей, поддержание нормативных показателей качества электроэнергии и снижение эксплуатационных затрат.

### **Реактивная мощность в системах тягового электроснабжения**

Реактивная мощность является неотъемлемой составляющей процессов преобразования и передачи электрической энергии в тяговых сетях. Она возникает при наличии индуктивных и емкостных элементов и не совершает полезной работы, однако необходима для создания магнитных и электрических полей.

Полная мощность в электрической системе определяется выражением:  $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$ , где  $P$  — активная мощность,  $Q$  — реактивная мощность. Коэффициент мощности  $\cos\varphi = P / S$  характеризует эффективность использования электрической энергии. В тяговых системах значение  $\cos\varphi$  часто оказывается заниженным, что негативно сказывается на работе оборудования.

### **Необходимость компенсации реактивной мощности**

Компенсация реактивной мощности является одним из наиболее эффективных способов повышения энергетической эффективности тяговых сетей. Основной целью компенсации является снижение потребления реактивной мощности из внешней энергосистемы за счет установки локальных компенсирующих устройств.

В результате компенсации достигается повышение коэффициента мощности, уменьшение токовых нагрузок на линии и трансформаторы, снижение потерь активной мощности и улучшение уровней напряжения в узлах сети. Это особенно важно для тяговых подстанций, работающих в условиях резкопеременных нагрузок.

### **Оптимизированные системы компенсации реактивной мощности**

Оптимизированная система компенсации реактивной мощности должна учитывать специфику тягового электроснабжения, включая неравномерность и импульсный характер нагрузки, а также требования по надежности и быстрдействию.

К основным типам компенсирующих устройств относятся батареи статических конденсаторов, синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы (SVC) и статические компенсаторы реактивной мощности (STATCOM). Современные FACTS-устройства обеспечивают плавное и быстрое регулирование реактивной мощности.



Оптимальный выбор мощности и места установки компенсирующих устройств осуществляется на основе технико-экономического анализа, включающего минимизацию потерь электроэнергии и приведенных затрат на оборудование и его эксплуатацию.

#### **Применение оптимизированных систем на тяговых подстанциях**

На тяговых подстанциях целесообразно применять автоматизированные системы компенсации реактивной мощности, способные адаптироваться к изменениям нагрузки в реальном времени. Это позволяет поддерживать оптимальные режимы работы оборудования и повышать устойчивость электроснабжения.

**Заключение.** Внедрение оптимизированных систем компенсации реактивной мощности в тяговых системах электроснабжения является необходимым условием повышения энергоэффективности и надежности железнодорожного транспорта. Использование современных регулируемых компенсирующих устройств позволяет снизить потери электроэнергии, улучшить качество напряжения и обеспечить устойчивую работу тяговых сетей в условиях переменных нагрузок.

#### **Список использованной литературы**

1. Кузнецов В.Г. Электроснабжение железных дорог. – М.: Транспорт.
2. Жежеленко И.В. Реактивная мощность и компенсация. – М.: Энергоатомиздат.
3. Воропай Н.И. Качество электроэнергии в электрических сетях. – М.: Энергоиздат.
4. Padiyar K.R. FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution. – IEEE Press.
5. Hingorani N.G., Gyugyi L. Understanding FACTS. – IEEE Press.
6. IEEE Guide for Reactive Power Compensation.
7. Kundur P. Power System Stability and Control. – McGraw-Hill.
8. Stevenson W.D. Elements of Power System Analysis. – McGraw-Hill.
9. Миловзоров В.П. Электрические сети и системы. – М.: Энергия.
10. ГОСТ 32144-2013. Качество электрической энергии.