

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ СТАТИЧЕСКИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ

Орешков М.П., Рубцов К.Д. студенты гр. СОД.1-19-1, V курс

Научный руководитель: Кронгауз Д.Э., к.т.н., доцент

Красноярский институт железнодорожного транспорта -
филиал Иркутского государственного университета путей
сообщения (КрИЖТ ИрГУПС)
г. Красноярск

В современном мире проблема компенсации реактивной мощности является актуальной, так как она влияет на качество электроэнергии, потери в сетях и эффективность работы электрооборудования. Существует два основных типа компенсирующих устройств: мобильные устройства компенсации реактивной мощности и статические компенсаторы. В данной работе будет проведён сравнительный анализ эффективности этих двух типов устройств.

Мобильные устройства компенсации реактивной мощности включают в себя синхронные двигатели, синхронные компенсаторы и конденсаторные установки. Они предназначены для компенсации реактивной мощности в нагрузках и элементах сети. Статические компенсаторы, такие как продольно включаемые батареи конденсаторов и поперечно включаемые реакторы, предназначены для компенсации реактивных параметров линий.

Мобильные устройства компенсации реактивной мощности являются альтернативой аналогичным стационарным установкам. Данные установки могут использоваться в качестве основных где нет устройств компенсации, либо оказывать дополнительную компенсацию реактивной мощности во время путевых работ.

Статические компенсаторы обеспечивают стабилизацию напряжения и компенсацию реактивной мощности в электрических сетях. Традиционные компенсаторы предназначены для оптимизации режимов работы электрических сетей, повышения пропускной способности, стабилизации напряжения и уменьшения потерь электрической энергии.

Установка компенсации реактивной мощности позволяет решить следующие задачи:

1. Снижение потерь электрической сети в тяговой сети (ТС) и в оборудовании ТП;
2. Снижение уровня потребления реактивной мощности на ТП в режимах тяги и рекуперативного торможения;
3. Снижение потерь напряжения в ТС и повышение пропускной способности участка железной дороги;
4. Снижение уровня несинусоидальности напряжения в ТС.

Следовательно, для решения данных задач потребуется использование передвижной или стационарного компенсирующего устройства (КУ).

В таблице 1 представлена классификация основных типов компенсирующих устройств.

Таблица 1 – Классификация компенсирующих устройств

| КУ Признак \ Тип | Мобильные устройства компенсации | Традиционные устройства компенсации |
|-------------------------------|--|---|
| Напряжение | 0,4-10 кВ | 0,4-10 кВ |
| Область применения | Промышленные предприятия, строительные объекты, сельское хозяйство | Промышленные предприятия, коммерческие здания, больницы |
| Диапазон мощностей | 10-10000 кВА | 500-5000 кВА |
| Регулирование | Автоматическое | Ручное |
| Защита от гармоник напряжения | Встроенная | Требуется дополнительное оборудование |
| Габариты, мм | 600х400х300 | 1200х800х600 |
| Вес, кг | 25-50 | 100-300 |
| Защита от бросков тока | Встроенная | Требуется внешнее устройство |
| Потери | Минимальные | Умеренные |
| Характер изменения нагрузки | Быстрое | Медленное |
| Вид реактивного сопротивления | Емкостное | Емкостное |
| Быстродействие | Высокое | Низкое |

Согласно таблице 1, мобильные устройства компенсации (КУ) реактивной мощности имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными устройствами компенсации. В частности, мобильные устройства компенсации имеют меньше габариты и вес, что облегчает их транспортировку и установку; имеют более высокое быстродействие, что позволяет быстрее реагировать на изменение нагрузки, а также обеспечивать более эффективное использование мощности и снижение потерь электрической энергии.

Для проведения сравнительного анализа (таблица 5) будет применяться программный комплекс «КОРТЭС», предназначенный для решения различных расчётных задач, связанных с выбором параметров, определением характеристик режимов и нагрузочной способности систем тягового электроснабжения [2]. Для этого выбран участок Красноярской железной дороги (Ачинская дистанция электроснабжения (ЭЧ-2)) Ачинск-I – Чернореченская. Данный участок является одним из наиболее сложных участков, так как имеет гористый профиль и затяжной подъём.

На данном участке применяется система тягового электроснабжения 25 кВ, которая содержит 2 тяговых подстанций (ТП), 2 пункта параллельного соединения, 1 пост секционирования. Данный участок имеет двухстороннее питание от ЛЭП от РП Ачинск-I и РП Чернореченская.

При проведении сравнительного анализа был выполнен тяговый расчёт при помощи программы «Trelk», который входит в состав комплекса «КОРТЭС». Исходными данными являются параметры участка: расположение отдельных пунктов, продольный профиль, ограничения скорости. Данные параметры задаются с помощью программы «Uchastk», который также входит в состав комплекса «КОРТЭС».

Параметры и характеристики подвижного состава выбираются из каталогов локомотивов и типовых составов поездов. Для выполнения тягового расчёта был создан продольный профиль пути участка Ачинск-I – Чернореченская с учётом всех исходных данных.

В таблице 2 представлен расход активной, реактивной мощности, коэффициент реактивной мощности на ТП Ачинск-I, Чернореченская и на МПЗ.

Таблица 2 – Расход активной, реактивной мощности, коэффициент реактивной мощности на ТП Ачинск-I, Чернореченская и на МПЗ

| Способ усиления | Тяговая под-станция | Расход мощности | | tgφ | cosφ | k _{пер} | Температура, °С | |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------|------|------------------|-----------------|-------|
| | | Активной, кВт×ч | Реактивной, кВА×ч | | | | обмоток | масла |
| Традиционные устройства компенсации | Ачинск-I | 219 296 | 263 164 | 1,20 | 0,64 | 1,20 | 121 | 96 |
| | Чернореченская | 275 603 | 366 141 | 1,33 | 0,60 | 1,62 | 137 | 106 |
| | МПЗ | 494 899 | 800 593 | 1,62 | 0,53 | – | – | – |
| Мобильные устройства компенсации | Ачинск-I | 238 618 | 175 685 | 0,74 | 0,81 | 0,52 | 69 | 65 |
| | Чернореченская | 293 532 | 239 347 | 0,82 | 0,78 | 0,81 | 76 | 67 |
| | МПЗ | 532 150 | 674 859 | 1,27 | 0,62 | – | – | – |

По данным, приведённым в таблице 2, можно сделать вывод об эффективности применения мобильных устройств компенсации реактивной мощности, так как процент суммарной скомпенсированной реактивной энергии для традиционных устройств составляет 21%, а для мобильных устройств составляет 26%, что в свою очередь, благоприятно влияет на коэффициент мощности. Также при использовании мобильных устройств компенсации достигается более благоприятный режим работы трансформаторов, за счёт снижения коэффициента перегрузки, температуры обмоток трансформатора и трансформаторного масла, что увеличивает его срок эксплуатации.

В таблице 3 предоставляется расход электрической энергии ТП на расчётном участке железной дороги.

Таблица 3 – Расход электроэнергии ТП на расчётном участке Ачинск-I – Чернореченская

| Расход электро-энергии | Исходная схема | 2 тр-ра | Традиционные устройства компенсации | Мобильные устройства компенсации |
|------------------------|----------------|-----------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Активная, кВт×ч | 914 563 | 1 025 111 | 940 884 | 1 051 782 |
| Реактивная, кВАр×ч | 10 696 696 | 1 196 280 | 921 541 | 979 167 |

Также проводится расчёт пропускной способности грузовых поездов для расчётной схемы участка Ачинск-I – Чернореченская до усиления СТЭ предлагаемыми типами КУ. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Минимальные допустимые интервалы при пропуске поездов повышенной массы на расчётном участке Ачинск-I – Чернореченская

| Наименование | Значение интервала, мин, ограниченное | Результирующее зна- |
|--------------|---------------------------------------|---------------------|
|--------------|---------------------------------------|---------------------|

| | | | | чение |
|--|------------------|---------------------|---------------------------|-------|
| | мощностью ПнТ | напряжением в КС | нагревом про- водов КС | |
| Традиционные устройства компенсации | 16 | 13 | 6 | 16 |
| Мобильные устройства компенсации | 8 | 8 | 6 | 8 |

Согласно приведённым данным в таблице 4 расчётных межпоездных интервалов можно сделать вывод, что на рассмотренном участке ограничивающим параметров пропускной способности перегона является мощность ПнТ. Следовательно, при включении второго силового трансформатора в параллельную нагрузку на каждой ТП, наблюдается рост пропускной способности, который значительно повлияет на экономический эффект от прироста грузооборота.

В таблице 4 приведена наличная суточная пропускная способность при пропуске поездов повышенной массы для нечётного и чётного направления участка Ачинск-I – Чернореченская. Наличная суточная пропускная способность при пропуске поездов повышенной массы для нечётного и чётного направления расчётного участка необходима для определения возможности пропуска поездов повышенной массы на участке железной дороги Ачинск-I – Чернореченская. Данный показатель позволяет оценить эффективность использования инфраструктуры и даёт понять необходимость модернизации или же расширения участка для обеспечения пропуска поездов с повышенной массов.

Таблица 5 – Наличная суточная пропускная способность при пропуске поездов повышенной массы для нечётного и чётного направления расчётного участка Ачинск-I – Чернореченская

| Наименование | ПнТ | Напряжение | Нагрев проводов КС | Итоговый |
|-------------------------------------|---------|------------|--------------------|----------|
| Традиционные устройства компенсации | 60/56 | 74/69 | 159/150 | 60/56 |
| Мобильные устройства компенсации | 120/112 | 120/112 | 159/150 | 120/112 |

Проанализировав таблицу 5 можно сделать вывод, что по результатам расчёта пропускная способность грузовых поездов при использовании составляет 60 пар поездов в сутки в нечётном направлении и 56 пар поездов в чётном. Расчётный интервал составляет 16 минут.

Также можно сделать вывод, что мероприятия по усилению СТЭ участка Ачинск-I – Чернореченская обеспечивает пропуск поездов с межпоездным интервалом в 8 минут. В результате усиления и сокращения интервалов, возросла наличная суточная пропускная способность грузовых поездов повышенной массы и составила 120 пар поездов в нечётном направлении и 112 пар в чётном.

В таблице 6 приведён сравнительный анализ двух основных типов КУ, который даёт понять, какой вид КУ более эффективен в применении на данный момент.

Таблица 6 – Сравнительный анализ

| Признак | Мобильные устройства компенсации | Традиционные устройства компенсации |
|---|-------------------------------------|--|
| Пропускная способность в период проведения ремонтно-путевых работ, пар поездов | 100 | 100 |

| Признак \ Тип КУ | Мобильные устройства компенсации | Традиционные устройства компенсации |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| Годовой грузооборот, тонн-км | 2 500 000 | 2 000 000 |
| Доход от освоения оборота, тыс. руб. | 1 200 000 | 1 000 000 |
| Потери, ВТ/кВАр | 0,004 | 0,004 |
| Общий расход электроэнергии на ТП, кВт*час | 1500 | 2000 |
| Мощность, кВАр | 150 | 200 |
| Емкость, мкФ | 100 | 75 |

Таким образом, сравнительный анализ эффективности мобильных устройств компенсации и традиционных статических компенсаторов (таблица 6) показывает, что мобильные устройства компенсации реактивной мощности имеют ряд преимуществ перед статическими компенсаторами. При использовании мобильных устройств компенсации реактивной мощности многие показатели увеличиваются. Также общий расход электроэнергии на ТП снижаются по сравнению с традиционными устройствами компенсации реактивной компенсации.

Список литературы:

1. Качинская, Л. М. Применение программно-вычислительного комплекса для расчета режимов работы городской распределительной электрической сети / Л. М. Качинская, Д. Э. Кронгауз, В. И. Пантелеев // Промышленная энергетика. – 2010. – № 7. – С. 32-35. – EDN RDLVUR.
2. Кронгауз, Д. Э. Повышение качества электроэнергии в городских распределительных сетях посредством управления режимами реактивной мощности / Д. Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. – 2010. – № 10. – С. 39-43. – EDN RIUWKR.
3. Кронгауз, Д. Э. Актуальная концепция компенсации реактивной мощности в распределительных сетях / Д. Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. – 2022. – № 1. – С. 35-43. – DOI 10.34831/EP.2022.25.33.005. – EDN RPKKGH.
4. Рубцов, К. Д. Разработка нечётких алгоритмов для прогнозирования и потребления электроэнергии / К. Д. Рубцов, Д. Э. Кронгауз // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 2(20). – С. 152-166. – EDN UOJFWI.
5. Кронгауз, Д. Э. Переключение РПН трансформаторов с помощью нечеткой логики / Д. Э. Кронгауз, К. Д. Рубцов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2024. – № 1(82). – С. 54-58. – EDN LTORYG.