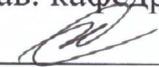


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы
Электроэнергетические системы и сети

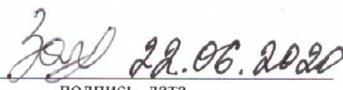
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

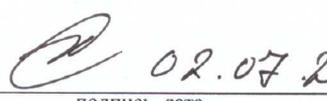

Н.В. Савина
«03» 07 2020 г.

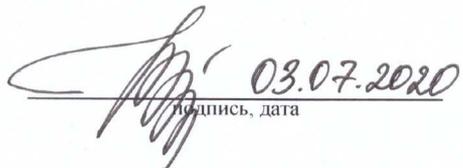
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

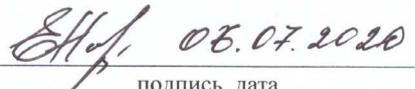
на тему: Инновационные подходы при регулировании напряжения реактивной мощности с целью обеспечения качества электроэнергии на руднике «Пионер»

Исполнитель
студент группы 842ом-1 
подпись, дата А.С. Загоруйко

Руководитель
канд.тех.наук,
профессор 
подпись, дата Ю.В. Мясоедов

Руководитель
магистерской
программы
докт.техн.наук,
профессор 
подпись, дата Н.В. Савина

Нормоконтроль
ст. преподаватель 
подпись, дата Н.С. Бодруг

Рецензент 
подпись, дата Е.Б. Николаенко

Благовещенск 2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой


Н.В. Савина
« 25 » 03 2020 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Загоряко Алексей Сергеевич

1. Тема выпускной квалификационной работы: Иноволонные подходы при регулировании напряжений реактивной мощности системы бесперебойного электроснабжения на руднике "Моисер"
(утверждено приказом от 10.03.2020 № 548)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 29.06.2020

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Рабочая документация ферросплавной рудины "Моисер", паспортная характеристика рассредоточенного фидера на КТП 6кВ, 0,4кВ.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Вопрос реактивной нагрузки на потребителях 0,4кВ. Расчет новой электрооборудования компенсации реактивной мощности и проведение анализа устаревшего оборудования. Проверка работы аппаратов при различных режимах работы. Рассмотрение новейших разработок в сфере компенсации реактивной мощности.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) 110 стр. пояснительной записки, 2 листа расчетной части, 12 таблиц, 4 приложения, 22 чертежа.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов)

7. Дата выдачи задания 25.03.2020

Руководитель выпускной квалификационной работы: Мисюгов Ю.В., канд. тех. наук, профессор
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 14.03.2020 Заг
(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Проект: 107с, 10 рисунков, 38 таблиц, 105 формул, 21 источник.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА, ТРАНСФОРМАТОР, РАСЧЕТ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ, ПОДСТАНЦИЯ, СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ТИРИСТОРНЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ, ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, ЗАЗЕМЛЕНИЕ, БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ.

В данной магистерской диссертации были рассчитаны реактивные нагрузки на потребителях 6 кВ и 0,4 кВ. Произведен расчет нового электрооборудования компенсации реактивной мощности и произведена замена устаревшего оборудования. Произведена проверка каждого аппарата при различных режимах работы. Были рассмотрены новейшие разработки в сфере компенсации реактивной мощности и прорывы у зарубежных компаний, а также приведены правила пожарной безопасности при эксплуатации данного электрооборудования.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Основная часть	15
1.1 Характеристика района расположения рудника «Пионер»	15
1.2 Характеристика существующей системы электроснабжения	16
2 Реактивная мощность	18
2.1 Реактивная составляющая- неотъемлемая часть потребляемой из сети энергии	18
2.2 Принципы компенсации реактивной мощности	22
3 Расчет выделяемой реактивной мощности на потребителях 6 кВ	29
3.1 Характеристики потребителей 6 кВ	29
3.2 Формула изобретения электродвигателя мельницы	29
3.3 Описание модели электродвигателя мельницы	30
3.4 Расчет мощностей при $\cos\phi$ равном 0,8 у асинхронных двигателей	36
3.5 Расчет мощностей при $\cos\phi$ равном 0,8 при учете замены синхронных двигателей	38
3.6 Расчет мощностей при $\cos\phi$ равном 0,94 и выбор УКРМ для потребителей 6 кВ	41
3.7 Технические характеристики установки ВАРНЕТ	43
3.7.1 Основные параметры	43
3.7.2 Технические характеристики	43
3.7.3 Конструкция ячеек	44
3.7.4 Конденсаторы	44
3.7.5 Выключатель	45
3.7.6 Реакторы	46
3.7.8 Трансформаторы	46
3.8 Синхронный двигатель как компенсатор реактивной мощности	46
3.9 Синхронные компенсаторы. Компенсирующие устройства реактивных нагрузок	48

4 Расчет реактивных мощностей на стороне 0,4 кВ	50
4.1 Описание потребителей 0,4 кВ на руднике «Пионер»	50
4.2 Расчет потребителей 0,4 кВ	51
4.3 Технические сложности	55
5 Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности	61
6 Экономический расчет	92
7 Безопасность и экологичность	94
7.1 Безопасность	94
7.2 Экологичность	95
7.3 Пожарная безопасность	98
Заключение	106
Библиографический список	112

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ВЛ – воздушная линия;

ВН – высокое напряжение;

ДЗТ – дифференциальная защита трансформатора;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КРУЭ – комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ЛЭП – линия электропередачи;

НН – низкое напряжение;

ОП – обратная последовательность;

ОПН – ограничитель перенапряжения;

ПП – прямая последовательность;

ПС – подстанция;

РЗиА – релейная защита и автоматика;

СН – собственные нужды;

ТДН – трансформатор трёхфазный с естественной циркуляцией масла и принудительной циркуляцией воздуха, с регулированием напряжения под нагрузкой;

ТН – трансформатор напряжения;

ТП – трансформаторная подстанция;

ТТ – трансформатор тока.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы, связанные с экономическим использованием всех видов энергии, включая электроэнергию, и повышением эффективности электрических систем, являются серьезной государственной проблемой.

Электричество как особый вид продукта обладает некоторыми свойствами, которые можно использовать для оценки его пригодности для различных производственных процессов. Все эти свойства, в которых приемники электроэнергии могут выполнять определенные в них функции, обобщены в соответствии с общей концепцией качества обслуживания.

В последние годы большое внимание уделяется повышению качества электроэнергии. Качество электроэнергии может оказать существенное влияние на расход электроэнергии, надежность систем электропитания и производственный процесс.

При решении проблемы повышения качества электроэнергии выделяются экономические, математические и технические аспекты.

Экономические аспекты включают методы расчета потерь от низкого качества электроэнергии в промышленных системах электроснабжения. Математические аспекты являются логикой некоторых методов расчета показателей качества электроэнергии. Технические аспекты включают разработку технических средств и мер по улучшению качества электроэнергии и организацию системы мониторинга и управления ее качеством.

Качество электроэнергии может быть улучшено с помощью электросети или с помощью подходящих дополнительных устройств, основанных на опыте проектных и эксплуатирующих организаций.

Некоторые решения, в основном основанные на технических требованиях, носят общий характер и должны приниматься на основе существующих руководящих принципов. В остальных случаях рассмотрим спецификации определенных условий.

Стремление повысить производительность труда в современных промышленных компаниях, а также интенсификацию и усложнение технологических процессов привели к тому, что сильно изменяющиеся и нелинейные нагрузки с увеличением потребления реактивной мощности имеют все большую долю в общем объеме нагрузок. В основном это вентильные преобразователи, которые широко используются на предприятиях черной металлургии и цветной металлургии, а также на предприятиях химической промышленности, а также в высокопроизводительных дуговых печах, сварочных системах и т. д.

Характерной особенностью работы этих потребителей является их влияние на качество электроэнергии сетей электроснабжения. Нормальная работа электрических устройств в свою очередь зависит от качества системы электропитания. Это взаимное влияние электрических устройств и системы электропитания определяется термином «электромагнитная совместимость».

Решение проблемы электромагнитной совместимости заключается в определении и поддержании оптимальных показателей качества электроэнергии, для которых технические требования выполняются с минимальными затратами.

Проблема электромагнитной совместимости приемников электропитания с электросетью в последнее время остро возникла в связи с повсеместным внедрением мощных вентильных преобразователей, дуговых плавильных печей, сварочных систем и других устройств, которые, несмотря на всю свою эффективность и технологичность, негативно влияют на качество электроэнергии в электросетях.

При разработке новых электроприемников необходимо учитывать их негативное влияние на источник питания. При оценке следует учитывать дополнительные устройства, чтобы предотвратить ухудшение качества электроэнергии. Стандарты качества, требуемые для электроэнергии, уже могут быть достигнуты на этапе проектирования электроснабжения для

промышленных компаний посредством соответствующих расчетов и использования технических средств.

Одной из основных проблем, связанных с улучшением качества электроэнергии в сетях, которая решалась как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации промышленных систем электроснабжения, является вопрос компенсации реактивной мощности, включая выбор подходящих источников, расчет и регулировку их мощности, позиционирование источников в системе питания.

Рациональная (оптимальная) компенсация реактивной мощности в промышленных электрических сетях охватывает широкий круг тем, что направленно на повышение эффективности электрических систем, повышение качества потребляемой мощности и методов выбора и расчета компенсационных устройств в зависимости от условий выполнения задач энергетической системы. Вопросы о расположении компенсационных устройств и их наиболее выгодном расположении, рациональной и безопасной эксплуатации и защите; Ключевые темы автоматического управления реактивной мощностью в промышленных электрических сетях и создание научного подхода к разработке и решению соответствующей математической модели для задачи рациональной компенсации реактивной мощности с минимумом ошибок.

Рациональная компенсация реактивной мощности приводит к снижению потерь мощности из-за переполнения реактивной мощности, чтобы обеспечить правильное качество энергопотребления путем регулирования и стабилизации уровня напряжения в электрических сетях и достижения показателей высоких технико-экономических показателей в электроустановках.

Проблема компенсации реактивной мощности в электрических системах страны имеет большое значение по следующим причинам:

- 1) в промышленном производстве рост превышает потребление реактивной мощности по сравнению с активной;

2) В городских электросетях потребление реактивной мощности возросло из-за роста нагрузки на домохозяйства.

3) Увеличение потребляемой реактивной мощности в сельских электрических сетях.

Количественные и качественные изменения в промышленном энергоснабжении за последние годы придают этой теме особое значение. В настоящее время увеличение потребления реактивной энергии значительно превышает увеличение потребления активной энергии. В то же время передача реактивной мощности на значительные расстояния от мест производства до мест потребления значительно ухудшает технико-экономические показатели систем электроснабжения.

Интенсификация производственных процессов, повышение производительности труда связаны с совершенствованием существующих и внедрением новых передовых технологий. Этот процесс идет рука об руку с повсеместным внедрением высокопроизводительных вентильных преобразователей, дуговых печей, сварочных аппаратов и других устройств, которые, несмотря на свою технологическую эффективность, негативно влияют на качество электроэнергии в электрических сетях.

Следует отметить, что почти все качественные показатели напряжения электроэнергии зависят от реактивной мощности, потребляемой промышленными приемниками энергии. Следовательно, проблемы качества электроэнергии в прямой связи с проблемами компенсации реактивной мощности рассматриваются с точки зрения проблемы электромагнитной совместимости.

Проблема электромагнитной совместимости приемников энергии с сетью электроснабжения, которая недавно столкнулась с проблемой загрязнения окружающей среды, создает новые научно-технические проблемы при проектировании и эксплуатации промышленных электрических сетей. В настоящее время принимаются меры по снижению влияния потребителей на качество электроэнергии в промышленных сетях.

Эта проблема может быть решена путем промышленной разработки и разработки многофункциональных высокоточных инструментов компенсации реактивной мощности, которые одновременно улучшают качество электроэнергии несколькими способами. Внедрение этих устройств также уменьшит потери энергии.

Экономическое использование электроэнергии становится все более важным, поэтому необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации промышленных сетей высокого и низкого напряжения. Анализ потребления электроэнергии промышленными компаниями показывает, что основными направлениями снижения потерь энергии в сетях является компенсация реактивной мощности, в то время как качество электроэнергии, потребляемой непосредственно в промышленных сетях, улучшается, а потребление электроэнергии увеличивается. Нагрузка на трансформаторы для достижения максимальной эффективности их использования, Приближение трансформаторов к приемникам электрической энергии (глубокие вводы), уменьшение фаз преобразования и устранение дальнейшего реакторного оборудования, снижение потерь непосредственно в трансформаторах, внедрение оборудования электрических и более дешевых источников света, оптимизация режимов работы электрических устройств, реконструкция и передача высоковольтных сетей, внедрение контроля управления и автоматизированных систем контроля мощности и выставления счетов за электроэнергию.

Проблемы качества электроэнергии требуют тщательной разработки и изучения явлений, возникающих одновременно. Особые трудности связаны с отсутствием измерительных приборов в электрических сетях, а также сложностью и необходимостью изменения методов измерения. Это связано, в частности, с влиянием случайности изменений нагрузки, что, в свою очередь, требует использования статистических инструментов и соответствующей обработки полученной информации, использования вероятностно-статистических методов расчета.

Месторождение Пионер является одним из крупнейших по запасам золота в России. Рудник Пионер находится на границе Магдагачинского и Зейского районов Амурской области. Месторождение расположено приблизительно в 50 км от города Зeya. На момент начала 2019 года, балансовые ресурсы месторождения составляли более 184 тонны золота.

Первые данные о наличии золота в коренном залегании получены в 1978 году, при проведении геологической разведки Умлеканской партией Зейской ГСЭ (начальник партии В.А. Степанов). Дальнейшие поисковые работы проводили партии Зейской ГСЭ, а разведочные вела компания «Петропавловск»

Группа компаний «Петропавловск» приобрела «Пионер» в 2001 году, когда месторождение еще не имело доказанных запасов золота. Используя исключительно собственные силы, компания выполнила разведку и построила золотодобывающее предприятие, входящее в ТОП-10 России. В 2008 году, состоялся запуск горно-гидрометаллургического комплекса, мощностью более 6,5 млн. тонн руды в год.

В 2008 году на месторождении было добыто 4,5 тонны золота, в 2009 году - 6,9 тонн драгоценного металла. Самое рекордное количество золота на месторождении Пионер было добыто в 2013 году - 9,8 тонн. С 2014 года добыча золота начала снижаться. В 2017 году удалось получить 5 тонн золота, а в 2018 году было добыто всего 4,2 тонны. Всего, до 2019 года на месторождении Пионер было добыто более 80 тонн золота.

Месторождение Пионер локализовано на контакте многофазной Ольгинской интрузии гранитоидов раннемелового возраста и вмещающих песчано-сланцевых пород аякской свиты средне-позднеюрского возраста. Руды месторождения относятся к золото-сульфидно-кварцевому типу. По минеральному составу руды на 88-96% сложены породообразующими минералами, в первичных рудах это кварц и полевые шпаты. В окисленных рудах место полевых шпатов занимают глинистые минералы.

Территория расположения рудника постоянно находится в состоянии активной геологоразведки и имеет высокий потенциал к приросту балансовых запасов золота. На момент начала 2019 года, запасы руды на месторождении Пионер составляли около 180 млн. тонн, с содержанием золота около 1 грамма на тонну.

Одним из самых важных критериев работы рудника «Пионер» является электроснабжение фабрики по переработке руды, поэтому ему необходимо уделить особое внимание, так как выход из строя даже самого незначительного элемента фабрики может серьезно повлиять на технологический процесс производства.

Так же на этапе проектирования учитываются такие факторы как:

- Категория объекта электроснабжения
- Характеристика окружающей среды
- Характеристика технологического процесса
- Пожароопасность
- Наличие химических опасных веществ

Главной целью выпускной квалификационной работы является расчет выделяемой реактивной мощности на руднике «Пионер», и выявления более эффективных и современных способов ее регулирования.

Задачи выполненные в ВКР:

- Расчет реактивной мощности потребителей 6 кВ, 0,4 кВ;
- Оценка методов регулирования реактивной мощности;
- Расчет и обоснование новых методов регулирования реактивной мощности;
- Выбор и проверка электрических аппаратов;

Данная квалификационная выпускная работа актуальна тем, что в настоящее время в связи с открытием новых месторождений золота будут увеличены объемы добычи руды, а следовательно и нагрузка на золото перерабатывающую фабрику.

Ожидаемым результатом является получение надежной системы

внешнего и внутреннего электроснабжения и эффективностью эксплуатации, а так же увеличение качества электрической энергии.

Разработка данного проекта проводилась с помощью общих нормативных документов (РД, ПУЭ и т.д.), так и со специальными документами разработанными для энергослужбы Рудника.

При выполнении данного магистерского проекта использовались программные комплексы, такие как: Excel 2016, Mathcad 15.0, Microsoft Visio 2015, MathType 6.9, MicrosoftWord 2016.

1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Характеристика района расположения рудника «Пионер»

Рудник «Пионер» расположен на юге Зейского района, на горных массивах. Рудник граничит на юге – с Магдагачинским Районом, , на севере – с поселком Тыгда.

- Климат континентальный с муссонными чертами.
- сейсмичность района строительства не более шести баллов согласно СНИП-П-7-81;
- норма осадков в год 496 мм;
- минимальное выпадение осадков январь – 6 мм;
- максимальное выпадение осадков июль – 126 мм;
- абсолютный минимум –49,0;
- абсолютный максимум +39,1;
- предприятий, загрязняющих экологическую среду нет.
- нормативная скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли повторяемостью один раз в десять лет – 28 м/сек;
- район гололёдности – два, толщина стенки гололёда на высоте 10 м над поверхностью земли повторяемостью один раз в десять лет – 10 мм;
- образование снежного покрова позднее;
- вес снегового покрова – 90 кг·с/м²;
- осенью и весной частые и сильные ветры;
- скорость ветра при гололёде – 18 м/сек;
- температура воздуха при гололёде – минус 15 °С;
- нормативная глубина промерзания для глин и суглинков – 273 см, для песка и супесей – 292 см;

На площадке строительства литологический разрез (сверху-вниз) представлен следующими грунтами:

- почвенно-растительный слой мощностью 0,2 м;

- суглинки маловлажные, полутвердые мощностью (1,8-2,5) м;
- пески разнозернистые от пылеватых до средней крупности, средней плотности до вскрытой глубины 8 м.

Подземные воды до глубины 8 м на площадке не вскрыты. Суглинки, пески мелкие и пылеватые при промерзании слабопучинистые, а пески средней крупности практически непучинистые.

1.2 Характеристика существующей системы электроснабжения

Система внешнего электроснабжения рудника «Пионер» осуществляет прием и передачу электроэнергии от энергетической системы и автономных источников питания. Передача и распределение энергии осуществляется с помощью ЛЭП напряжением 110 кВ, 35 кВ, затем по ЛЭП напряжением 6 кВ передается к потребителям системы внутреннего электроснабжения: подстанции 35 кВ/6 кВ «Бахмут» и «Александра», которые в свою очередь питают карьеры; РУ фабрики 6 кВ, которые в свою очередь питают потребителей высокого напряжения и ТП 6 кВ/ 0,4 кВ.

На данный момент в качестве основного источника питания используется подстанции Светлая и Мех. Завод. От подстанций осуществляется передача электроэнергии по линиям 110 кВ на подстанцию Пионер.

Для соблюдения безопасности и обеспечения надежности энергоснабжения на объектах установлены аварийные источники питания ДЭС (дизельные электростанции).

На руднике все потребители электрической энергии делятся на 3 категории:

Самой важной категорией является 1 – к ней относятся электроприемники обеспечивающие бесперебойную работу золото перерабатывающей фабрики. Потребителей 1 категории разделяют на 2 группы: группа 1-е – к ним относятся потребители, которые могут быть отключены на то время которое необходимо для запуска резервного источника электроэнергии; группа 2-а – это те потребители которые

категорически не допускающие разрыв электроснабжения. Электроснабжение потребителей 1 категории должно осуществляться от 2х и более независимых источников питания с устройством автоматического включения резерва. Также в особой группе предусматривается резервный источник питания – такой как аккумуляторная батарея, автономная ПС.

Потребители второй категории имеют такие же условия как и обеспечения первой, за исключение того что здесь имеется возможность за время выхода из строя питания, подключить резервное вручную. Снабжение осуществляется от 2х независимых источников электроэнергии, при этом перерыв в электроснабжении на время необходимое для подключения резервных не приводит к снижению боевого дежурства.

Потребители второй категории – электроприемники допускающие перерыв в электроснабжении без вреда для производства на время требуемое для ликвидации аварии, ремонтно-профилактических работ в системе снабжения предприятия. Как правило время отключения не больше 24 часов, но раз в год допускается перерыв в электроснабжении до 72 часов. Снабжение 3 категории обеспечивается одним источником питания.

2 РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

2.1 Реактивная составляющая – неотъемлемая часть потребляемой из сети энергии

В реальных условиях питания соединения для передачи энергии и нагрузки потребителя вместе с активным сопротивлением всегда содержат компоненты индуктивного и емкостного сопротивления. Устройства, которые потребляют индуктивную мощность, обычно называют приемниками реактивной мощности (энергии), а устройства, которые используют емкостную мощность, называют источниками реактивной мощности (энергии). Большинство промышленных устройств потребляют реактивную мощность.

Состав потребителей реактивной энергии показывает, что основную часть реактивной мощности потребляют четыре типа устройств: асинхронные двигатели - 40% (вместе с бытовыми двигателями, сельскохозяйственными электродвигателями и асинхронными электроприводами для нужд вспомогательных электростанций). электрические печи - 8%; вентильные преобразователи - 10%, трансформаторы всех уровней трансформации (потери в них) - 35%, ЛЭП (потери в них) - 7%. Поскольку индуктивная нагрузка параллельна активной мощности, реактивная мощность индуктивного характера также должна передаваться по сети.

При подключении к электрической сети с напряжением активной индуктивной нагрузки ток, содержащийся в ней, задерживается на угол сдвига:

Электрический приемник с такой нагрузкой потребляет как активный и реактивная мощность.

Активные и реактивные показатели мощности меняются не только в течение длительного периода (дни, месяцы), но и в течение смены производства.

Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi_i = Q_i/P_i$ выражает реактивную мощность четко в активной мощности. Соотношение между коэффициентами выглядит следующим образом:

Активная мощность, потребляемая электрическим устройством, может работать и преобразовываться в другие виды энергии: механическую, тепловую, световую, химическую, энергию сжатого воздуха и газа и т. Д. Определенная часть активной энергии используется для потерь.

Реактивная мощность не связана с полезной работой приемника энергии и используется для генерации электромагнитных полей в электродвигателях, трансформаторах и линиях.

Следует говорить о некоторых традиционных интерпретациях Q как силы. Активная мощность основана на преобразовании двигателя, полученного от естественного источника, в первичный ток. Реактивная мощность не преобразуется в другие виды энергии, не требует затрат на другие виды энергии для ее генерации, не выполняет работу и поэтому условно определяется как мощность.

Аналогия реактивной мощности с активной мощностью - это сходство аналитического выражения; потребители энергии потребляют не только активную, но и реактивную энергию, поскольку процессы передачи и потребления электроэнергии неразрывно связаны с возникновением магнитных и электрических полей; в зависимости от активной и реактивной мощности по напряжению и частоте в соответствии со статическими свойствами; в зависимости от потерь в сетях из-за потоков активной и реактивной мощности; измерять активную и реактивную мощность таким же образом. Для расчета режимов в синусоидальных цепях реактивная мощность является очень практичной функцией, которая широко используется на практике.

Что касается выработки и потребления, между реактивной мощностью и активной мощностью существуют значительные различия. Если большая часть активной мощности потребляется приемниками, и только небольшая

часть теряется в элементах сети и электрооборудовании, потеря реактивной мощности в элементах сети может быть сопоставима с реактивной мощностью, потребляемой электрическими приемниками. Из 100% реактивной мощности, генерируемой в электросети, 22% теряется в повышающих трансформаторах электростанций и автотрансформаторах для повышения напряжения на подстанциях с 110–750 кВ электросети, 6,5% в линиях районной сети системы идут 13, Потери в 5% в понижающих трансформаторах, и только 58% общей реактивной мощности генерируется на шинах потребления от 6 до 10 кВ.

Активная мощность электросети получается от генераторов электрических станций, которые являются единственным источником активной энергии.

Общая мощность, генерируемая генератором, включает активные и реактивные компоненты.

Совместно с другими источниками реактивной мощности синхронные генераторы на электростанциях снабжают и регулируют баланс реактивной мощности в современных электрических сетях. В номинальном режиме генератор генерирует номинальные значения активной и реактивной мощности по $\cos\phi$.

Если активная мощность уменьшается по сравнению с номинальным значением, можно выдавать большую реактивную мощность, чем номинальная мощность. Возможность увеличения реактивной мощности за счет уменьшения активной мощности может в случае избыточной активной мощности, в течение. в режиме минимальной активной зарядки. В этом случае некоторые из генераторов, которые несут активную нагрузку, могут быть переведены на работу с пониженным коэффициентом мощности.

Увеличение реактивной мощности, генерируемой в режиме максимальной нагрузки, из-за уменьшения выработки активной мощности не может быть реализовано экономически. Вместо уменьшения активной мощности генераторов электростанций более эффективно использовать

компенсационные устройства для генерации реактивной мощности. Следовательно, компенсационные устройства обычно используются в сетях для компенсации потребности в реактивной мощности.

Прохождение реактивных токов в электрических сетях вызывает дальнейшие потери активной мощности в линиях, трансформаторах, генераторах электростанций, потери напряжения, требует увеличения номинальной мощности или количества трансформаторов и снижает КПД всей системы электропитания. Большая нагрузка реактивной мощности электростанций приводит к перегрузке генераторов по току, поэтому их приходится использовать специально для генерации реактивной мощности даже в часы, когда некоторые генераторы могут быть отключены в резерве из-за активной нагрузки. Реактивная мощность также загружается в корпоративные сети снабжения и распределения, что увеличивает общее энергопотребление.

Концентрация выработки реактивной энергии во многих случаях экономически нецелесообразна по следующим причинам.

1. При передаче значительной реактивной мощности дополнительные потери активной мощности и электроэнергии происходят во всех элементах энергосистемы из-за нагрузки на их реактивную мощность.

Следовательно, дополнительные потери в активной мощности ΔP_p , вызванные потоком реактивной мощности Q , пропорциональны их квадрату.

2. Существуют дополнительные потери напряжения, которые особенно значительны в сетях регионального значения.

Дополнительные потери напряжения увеличивают отклонение напряжения на клеммах приемника от номинального значения при изменении нагрузки и состояния сети. Это требует увеличения производительности и, следовательно, стоимости регулирования напряжения.

3. Реактивная нагрузка промышленных систем электропитания и трансформаторов снижает их производительность и требует увеличения

сечений воздушных линий и кабелей, увеличения номинальной мощности или количества трансформаторов в подстанциях и т. д.

Поскольку реактивный компонент неизбежен при работе многих промышленных устройств, он не может быть полностью исключен. Однако целесообразно использовать средства для снижения потребления из сети.

В каждой цепи генерируемая реактивная мощность соответствует потребляемой реактивной мощности. В связи с тем, что большинство промышленных устройств являются потребителями реактивной энергии, потребность в реактивной мощности обычно превышает способность рационально покрывать их генераторами электростанций. Поэтому необходимо проверить дополнительные устройства, которые подают реактивную энергию в энергосистему. Устройства этого типа, так называемые компенсаторы, могут действовать как группы конденсаторов, компенсаторов и синхронных двигателей, а также статических источников реактивной мощности. При номинальной нагрузке генераторы генерируют только около 60% требуемой реактивной мощности, 20% генерируются в линиях электропередач с напряжениями выше 110 кВ, 20% генерируют компенсационные устройства, которые расположены на подстанциях или непосредственно у потребителя. Совместная работа компенсационных устройств с сетью приводит к снижению потребления реактивной составляющей электроэнергии из нее.

Вышеуказанные соображения, однако, технически и экономически целесообразны для того, чтобы приблизить источники покрытия реактивной мощности к точке использования и уменьшить количество реактивной мощности, получаемой от системы электропитания. Это значительно освобождает линии электропередач и трансформаторы от реактивной мощности.

2.2 Принципы компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности называется производством или потреблением с помощью компенсационных устройств.

Принцип компенсации реактивной мощности заключается в следующем.

Было обнаружено, что ток, протекающий через конденсатор, составляет 90° перед приложенным к нему напряжением, тогда как ток, протекающий через индуктор, находится на 90° ниже прикладываемого напряжения. Следовательно, емкостный ток противоположен индуктивному току, а реактивная мощность, используемая для генерации электрического поля, противоположна направлению реактивной мощности, используемой для генерации магнитного поля. Следовательно, емкостный ток и емкостная мощность в отношении тока намагничивания и мощности намагничивания рассматриваются как условно отрицательные, условно предполагаемые положительными.

Следовательно, численно равные реактивные емкости и намагниченности взаимно «разрушаются», и сеть разряжается из потока реактивной составляющей тока нагрузки.

Принцип компенсации при помощи емкостного тока поясняет векторная диаграмма на рисунке 1.

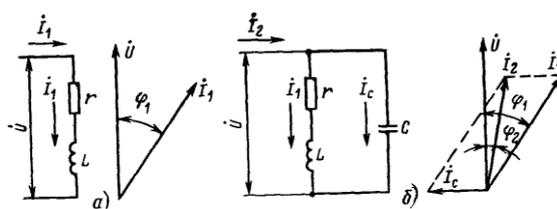


Рисунок 1 – Принцип компенсации реактивного тока намагничивания:

а – схема до компенсации; б – схема с компенсацией

Емкость конденсатора C , который подключен параллельно нагрузке, содержащей R и L , выбрана таким образом, чтобы абсолютное значение тока I_c , протекающего через конденсатор, было как можно ближе к току I_L намагничивания, потребляемому индуктивностью L . Из векторной диаграммы видно, что подключение конденсатора C дало возможность

уменьшить фазовый угол между током нагрузки и нагрузкой с ϕ_1 до ϕ_2 и, следовательно, увеличить коэффициент мощности нагрузки. Увеличивая емкость, можно полностью компенсировать реактивную мощность нагрузки, когда $\phi = 0$.

Как и любая важная техническая мера, компенсация реактивной мощности может использоваться для различных целей. Во-первых, в условиях компенсации реактивной мощности требуется компенсация реактивной мощности. Во-вторых, установка компенсационных устройств снижает потери мощности в сети. В-третьих, компенсационные устройства, наконец, используются для регулирования напряжения.

Во всех случаях при использовании компенсационных устройств необходимо учитывать ограничения следующих технических и эксплуатационных требований:

- 1) запас мощности, необходимый в узлах нагрузки;
- 2) реактивная мощность, доступная на шинах ее источника;
- 3) отклонения напряжения;
- 4) мощность электрических сетей.

Чтобы уменьшить поток реактивной мощности вдоль кабелей и трансформаторов, энергия реактивной мощности должна располагаться вблизи мест потребления. В то же время передающие элементы сети разряжаются от реактивной мощности, что снижает потери активной мощности и напряжения.

При использовании компенсационных устройств на подстанциях с постоянной мощностью нагрузки реактивная мощность и ток в линии уменьшаются - линия отклоняется от реактивной мощности.

Снижение потребления реактивной энергии в компании достигается путем компенсации реактивной мощности как за счет естественных мер (суть которых заключается в ограничении влияния приемника на источник питания путем воздействия на сам приемник), так и с помощью специальных

компенсационных устройств (мощности), реагирующих на соответствующие.
Установить топливную систему.

Действия по балансированию реактивной мощности управляемых или планируемых электрических систем потребителей можно разделить на следующие три группы:

- 1) не запрашивать использование компенсационных устройств;
- 2) в связи с использованием компенсационных устройств;
- 3) разрешено в порядке исключения.

Меры первой группы направлены на снижение потребляемой реактивной мощности и должны рассматриваться в первую очередь, поскольку их реализация обычно не требует каких-либо значительных инвестиций.

Последние две меры должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами и применяться в координации с энергосистемой.

Деятельность, не требующая компенсационных устройств:

- 1) рационализация технологического процесса, что приводит к улучшению энергетического режима оборудования и, следовательно, к увеличению коэффициента мощности;
- 2) переключение обмоток статора асинхронных двигателей с напряжением до 1000 В из треугольника в звезду при их нагрузке менее 40%;
- 3) отменить режим работы асинхронных двигателей без нагрузки (минимум), установив минимальные ограничители, если продолжительность периода взаимодействия превышает 10 минут;
- 4) замена, реструктуризация и отключение трансформаторов, которые заряжают в среднем менее 30% их номинальной мощности;
- 5) замена слабонагруженных двигателей двигателями меньшей мощности при условии, что устранение избыточной мощности приводит к снижению общих потерь активной энергии в топливной системе и двигателе;
- 6) замена асинхронных двигателей синхронными двигателями одинаковой мощности, если это возможно по техническим и экономическим причинам;

- 7) использование синхронных двигателей для всех новых установок электроприводов при условии, что это приемлемо по техническим и экономическим причинам;
- 8) регулирование напряжения, которое подается на электродвигатель с тиристорным управлением;
- 9) улучшить качество ремонта двигателей, поддерживая их рейтинги;
- 10) использование преобразователей с большим количеством фаз фрезерования;
- 11) использование альтернативного и асимметричного контроля за работой преобразователей;
- 12) использование специальных систем преобразования с искусственными переключающими клапанами (эти системы характеризуются пониженным потреблением реактивной мощности) и систем с ограниченным содержанием высших гармоник в токе питания.

Деятельность, связанная с использованием балансирующих устройств:

- 1) установка статических конденсаторов;
- 2) использование синхронных двигателей в качестве компенсаторов;
- 3) использование статических реактивных источников энергии;
- 4) использование компенсационных систем, состоящих из нескольких перечисленных устройств, которые работают параллельно.

Использование устройств компенсации реактивной мощности должно предшествовать углубленному технико-экономическому обоснованию ввиду высокой стоимости и сложности этих устройств.

Компенсирующие устройства подразделяются на следующие типы в зависимости от их положения в разветвленной электросети: индивидуальные, групповые и центральные компенсаторы. На рисунке 2 показаны различные схемы расположения компенсирующих устройств в электроэнергетической системе.

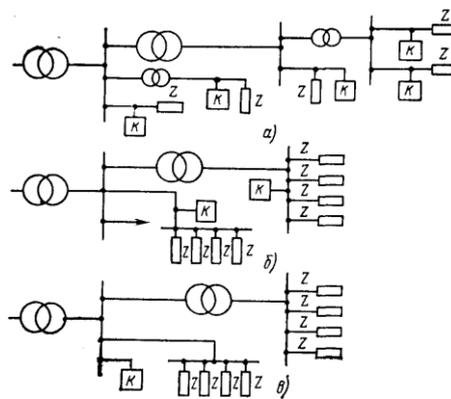


Рисунок 2 – Схемы подсоединения компенсирующих устройств:
 а – индивидуальная компенсация; б – групповая компенсация; в –
 централизованная компенсация

Индивидуальные компенсаторы - это устройства, которые работают непосредственно с приемником, который потребляет реактивную мощность от источника питания. При полной компенсации приемник и устройство компенсации являются устройствами, которые используют только активную энергию для питания от сети. Однако при выключении потребителя компенсационные устройства не используются, что является основным недостатком индивидуальной компенсации. Этот тип компенсации лучше всего использовать для компенсации искажений характеристик приемников с нелинейными характеристиками.

Групповое и центральное вознаграждение позволяет использовать устройства, независимые от работы отдельных потребителей. Для реализации этого типа компенсации требуются дополнительные устройства: коммутация и защита; Кроме того, компенсационные устройства должны предлагать достаточный диапазон контроля энергопотребления. Диапазон изменения тока, потребляемого компенсационными устройствами, следует определять на основе анализа суточной потребности в реактивной мощности для этой группы потребителей. Как правило, группа потребителей характеризуется частым изменением нагрузки, что требует использования компенсационных

устройств с автоматическим регулированием мощности, подаваемой компенсатором.

С непрерывным развитием электрических систем и появляющейся тенденцией к созданию все более крупных электростанций ценность централизованной компенсации уменьшается. При централизованной компенсации в крупных системах электропитания компенсация не обеспечивается во всех точках системы, особенно когда нелинейные нагрузки расположены на большом расстоянии от электростанций и подстанций. Чем больше расстояние, тем больше потери в сети. По этой причине групповые компенсаторы и индивидуальные компенсаторы для нелинейных высокопроизводительных нагрузок производятся все чаще.

Важным моментом является подходящее положение компенсатора и, в частности, выбор точек подключения для измерительных цепей. Рекомендуется расположить компенсатор так, чтобы реактивная мощность могла стабилизироваться в точке подключения преобразователя. В этом случае колебания напряжения в системе электропитания ограничиваются при изменении условий работы подключенных нагрузок.

3 РАСЧЕТ ВЫДЕЛЯЕМОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПОТРЕБИТЕЛЯХ 6 КВ

3.1 Характеристики потребителей 6 кВ

Электродвигатель предназначен для безредукторной передачи мельниц, содержащих алмазы и другие минералы. Часть ротора электродвигателя установлен на цилиндрической поверхности барабана мельницы, а статор часть электродвигателя покрывает часть ротора с пространством и установлен на опорной базе барабана мельницы. Таким образом, вы можете уменьшить требования к пространству вдоль длины мельницы примерно вдвое, поскольку исключаются коробка передач, шарниры и установка отдельного электродвигателя, а эффективность привода увеличивается. 9% из-за отсутствия трения, значительно снижают шум и вибрации привода, устраняют затраты на обслуживание и ремонт контактных узлов, устраняют загрязнение нефтью в окружающей среде и значительно снижают риск возникновения пожара.

3.2 Формула изобретения электродвигателя мельницы

Электродвигатель мельницы самоизмельчения алмазосодержащих руд, содержащий роторную и статорную части, отличающийся тем, что роторная часть электродвигателя установлена на цилиндрической поверхности барабана мельницы, а статорная часть электродвигателя, охватывающая с зазором роторную часть, закреплена на опорном фундаменте барабана мельницы.

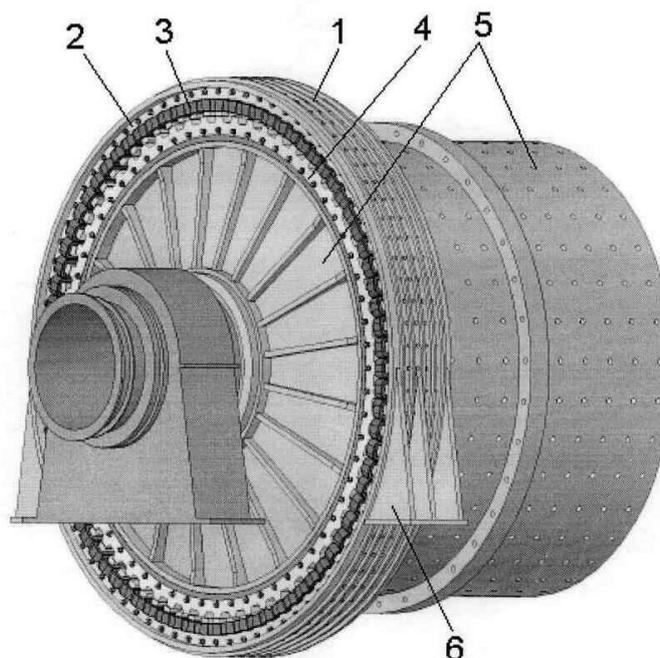


Рисунок 3

3.3 Описание модели электродвигателя мельницы

Полезная модель относится к области электротехники, в частности к управляемым электродвигателям большой мощности, и может быть использована в качестве безредукторного привода мельниц самоизмельчения алмазосодержащих и других руд.

Работающие в настоящее время на обрабатывающих фабриках отечественные мельницы, предназначены для самоизмельчения руд, загружаемых во вращающиеся со скоростью 9-12 об/мин барабаны диаметром до 10 м с полной нагруженной массой до 170 т. Барабаны приводятся во вращение электромеханическими приводами, состоящими из синхронного электродвигателя мощностью от 2 МВт, статорные части которых закреплены на отдельном фундаменте, а роторные части, установленные в подшипниковых опорах электродвигателей, соединены с понижающим редуктором соединительными муфтами. Редукторы одно- или двухступенчатые, ведомые зубчатые венцы которых диаметром около 9 м установлены на цилиндрической поверхности барабана мельницы или на

втулке, соединенной с валом барабана мельницы [А.В.Рыбников, А.А.Голиков, В.Г.Бикташев, и др. Перспективы применения вентильных индукторных электроприводов на горно-обогатительных комбинатах акционерной компании «АЛРОСА» // Изв. вузов. Электромеханика. - 2009. - №1. - С.15-17].

Недостатками известного электромеханического привода, которые связаны с наличием объемного зубчатого колеса, шарниров, реостатов и подшипников электродвигателя, являются:

- потери энергии (эффективность линии с менее чем 90% оборудования);
- использование дополнительного пространства;
- износ узлов и деталей, соприкасающихся друг с другом, и затраты на их ремонт;
- стоимость заправки смазки и обслуживания подшипников электродвигателя и зубчатых пар
- загрязнение от загрязнения нефтью и повышенный риск возникновения пожара;
- Увеличение шума и вибраций электромеханического привода.

Однако реализация безредукторной электрической трансмиссии, которая свободна от этих недостатков, была затруднена отсутствием электродвигателя с высоким крутящим моментом и отображением энергии в ограниченных размерах на низких скоростях. Для улучшения процесса и уменьшения чрезмерного шлифования алмазов также необходим электропривод с автоматической регулировкой скорости вращения барабана в широком диапазоне.

Заявленная полезная модель вышеупомянутых аналогов наиболее близка к электродвигателю, часть статора установлена на отдельном фундаменте, а часть ротора, установленная в подшипниках электродвигателя, соединена через шарниры с редуктором, кольцо которого является каналом передачи на цилиндрической поверхности барабана мельницы установлена.

Цель, достигнутая с помощью этой полезной модели, состоит в том, чтобы устранить недостатки, упомянутые выше, и, следовательно, уменьшить потери энергии, освободить дополнительное пространство за счет уменьшения размера электромеханического привода, снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт и улучшить экологический баланс производительности. Снижение шума и вибрации, повышение надежности привода мельницы.

Эта цель достигается тем, что в электродвигателе самошлифовальной алмазной мельницы на основе алмаза, содержащей детали ротора и статора, часть ротора электродвигателя установлена на цилиндрической поверхности барабана мельницы и статорной части мельницы, который охватывает часть ротора с пространством, закреплен на опорной базе барабана мельницы.

Положительный эффект заключается в том, что в предложенной полезной модели с использованием барабана мельницы в качестве опоры для части ротора электродвигателя реализован привод барабана без зубчатых колес, в котором нет шестерни, нет соединения и нет отдельного электродвигателя с подшипником. Таким образом, вы можете уменьшить требования к пространству вдоль длины мельницы примерно вдвое, избежать вредных для окружающей среды потерь масла и значительно снизить риск возникновения пожара.

Кроме того, в предлагаемом устройстве отсутствуют узлы и детали, находящиеся в контакте, такие как подшипниковые группы электродвигателя и трансмиссии, зубчатые пары, которые позволяют повысить надежность привода, потери энергии за счет трения и КПД привода на 8- 9%. Кроме того, значительно снижается шум (включая инфразвук и ряд высокочастотных компонентов), возникают вибрации и устраняются затраты на обслуживание и ремонт изношенных контактных частей.

На чертеже приведен предлагаемый электродвигатель привода мельницы самоизмельчения алмазосодержащих руд, на котором обозначено: 1 - статорная часть; 2 - магнитопровод статора; 3 - фазные катушки обмотки

статора; 4 - роторная часть; 5 - барабан мельницы; 6 - лапы крепления статорной части.

Реализация полезной модели показана на примере пятифазного клапанного асинхронного двигателя, который содержит часть 1 статора, причем фазные катушки обмотки 3 прикреплены к полюсам их магнитной цепи 3 и отделены от помещения. Рабочий воздух из части 1 статора выполнен в виде зубчатой магнитопровода, который прикреплен к барабану мельницы 5 на цилиндрической поверхности. Часть 1 статора клапана асинхронного двигателя с помощью ножек 6 прикреплена к стойкам фундамента статорной мельницы.

Когда двигатель работает, на катушки каждой фазы обмотки 3 попеременно подаются прямоугольные импульсы напряжения, которые управляются полумостовым инвертором. Магнитный рабочий ток проходит через магнитную цепь редуктора 2 статора, рабочий воздушный зазор и магнитную цепь редуктора 4 ротора и создает электромагнитную пару, которая действует без контакта на зубья магнитопровода контура ротора и через них в направлении барабана мельницы, поворачивая его, Следовательно, нет необходимости использовать электродвигатель, который установлен отдельно с шарниром и зубчатой передачей, и вышеупомянутые недостатки известного электромеханического привода устранены.

Использование энергоэффективного асинхронного двигателя с управлением крутящим моментом для электрической мельницы дает следующие преимущества по сравнению с асинхронными и синхронными двигателями:

- Благодаря простой и надежной конструкции - на роторе отсутствуют активные элементы, а обмотка статора, которая сочетает в себе функции якоря и возбуждения, состоит из простых полюсных катушек с минимальным выступом передних частей, асинхронный двигатель клапана взрывобезопасен и может быть легко вставлен собирать разные механизмы (особенно в качестве безредукторных приводов).

- Возможность генерировать большое количество полюсов на роторе асинхронного двигателя клапана обеспечивает такой высокий крутящий момент, что можно использовать такой двигатель без передачи.

- Отсутствие превышения пусковых моментов и пусковых токов сверх номинальных значений обеспечивает плавный пуск и предотвращает вытягивание сети, поскольку, когда асинхронный двигатель клапана запускается в низкочастотном диапазоне, можно поддерживать текущее значение в заданном диапазоне формы тока контролируемой формы;

- КПД асинхронного двигателя клапана остается высоким даже на низких скоростях (до 98% для рассматриваемого применения);

- Обмотка катушки асинхронного двигателя клапана позволяет снимать статор для установки и демонтажа (в случае ремонта обмотки) без разборки подшипников мельницы и подъема барабана. Обмотки асинхронных и синхронных двигателей, которые непрерывно распределяются в пазах, не позволяют снимать статор без дальнейшей потери производительности из-за краевых эффектов.

- Привод индуктора клапана характеризуется высокой надежностью инвертора благодаря схемным решениям, исключающим возможность коротких замыканий внутри.

- В случае короткого замыкания в обмотке асинхронного двигателя клапана с магнитно и электрически независимыми фазами достаточно отделить только поврежденную фазу, при этом поддерживается работа большей части привода, а также асинхронных и синхронных двигателей с распределенными обмотками, в то время как фаза разделяется одновременно должны быть полностью отделены от мостового инвертора во избежание термического повреждения.

Это позволило зафиксировать часть статора электродвигателя на опорной базе барабана мельницы, потому что его масса значительно меньше, чем масса загруженного барабана.

В настоящее время асинхронный асинхронный двигатель успешно внедряется в самые передовые военные технологии (разработка и создание элементов интегрированных электрических систем для судов и в качестве изделий двойного назначения рекомендуются для общепромышленного применения.

Исходя из вышеизложенного и результатов нашего поиска патентной информации, мы считаем, что наша полезная модель соответствует критериям «новизна» и «промышленная применимость» и может быть защищена патентом Российской Федерации.

Первым шагом в расчете общей реактивной мощности является расчет этой мощности для потребителей высокого напряжения. Основными потребителями высокого напряжения являются синхронные двигатели и мельницы, которые работают с ними. Синхронный компенсатор - это легкий синхронный двигатель, который рассчитан на минимум.

В дополнение к реальной мощности основные потребители электроэнергии потребляют реактивную мощность от генераторов системы. Потребители, которым требуются большие намагничивающие реактивные токи для генерации и поддержания магнитного потока, включают асинхронные двигатели, трансформаторы, индукционные печи и другие. В связи с этим распределительные сети обычно работают с задержкой электроэнергии.

Реактивная мощность, генерируемая генератором, получается с наименьшими затратами. Однако передача реактивной мощности от генераторов связана с дополнительными потерями в трансформаторах и линиях электропередачи. Поэтому для получения реактивной мощности экономически целесообразно использовать синхронные компенсаторы, которые расположены на подстанциях системы или непосредственно у потребителей.

Синхронные двигатели благодаря возбуждению постоянным током они могут работать с $\cos = 1$ и не потребляют при этом реактивной мощности из

сети, а при работе, с перевозбуждением отдают реактивную мощность в сеть. В результате улучшается коэффициент мощности сети и уменьшаются падение напряжения и потери в ней, а также повышается коэффициент мощности генераторов, работающих на электростанциях.

На фабрике рудника «Пионер» присутствуют как синхронные высоковольтные двигателя, так и асинхронные. Их количество и мощности указаны в таблице 1.

Таблица 1- количество и мощности двигателей

Тип двигателя	Количество	Мощность кВт
Асинхронный	5	700
Асинхронный	2	160
Асинхронный	2	800
Синхронный	3	2000
Синхронный	5	1600
Асинхронный	2	315
Асинхронный	2	200
Асинхронный	3	250

Восемь синхронных двигателей приводят в действие МШР (Шаровая мельница)

3.4 Расчет мощностей при $\cos\phi$ равном 0,8 у асинхронных двигателей

Определяем сумму номинальных мощностей по формуле:

$$P_{ном\Sigma} = \sum p_N \cdot n_N, \quad (1)$$

где p_N - номинальная мощность двигателя, кВт;

n_N - количество двигателей.

Далее рассчитываем среднюю активную и реактивные мощности:

$$P_{cpN} = P_N + k_{uN}, \quad (2)$$

$$Q_{cpN} = P_{cpN} + tg\phi_N \quad (3)$$

где k_{uN} - коэффициент использования;

Определяем суммарную среднюю мощность:

$$P_{cp\Sigma} = \sum P_{cpN} \cdot n_N, \quad (4)$$

$$Q_{cp\Sigma} = \sum Q_{cpN} \cdot n_N \quad (5)$$

Рассчитываем активную и реактивную расчетную мощность при $K_p=1,03$

$$P_p = k_p \cdot P_{cp\Sigma}, \quad (6)$$

$$Q_p = k_p \cdot Q_{cp\Sigma}, \quad (7)$$

Полная расчетная мощность рассчитывается по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (8)$$

Далее рассчитываем общий косинус по формуле:

$$\cos\phi_p = P_p / S_p \quad (9)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2

Таблица 2- результаты расчетов

$P_{ном\Sigma}$,	$P_{cp\Sigma}$,	$Q_{cp\Sigma}$,	P_p ,	Q_p ,	S_p ,	$\cos \phi_p$
кВт	кВт	кВар	кВт	кВар	кВА	
21200	19080	4860	19650	5346	20370	0,96

Как видно из расчетов, синхронные двигатели полностью компенсируют реактивную мощность и выравнивают $\cos\phi$ до нужного значения.

3.5 Расчет мощностей при $\cos\phi$ равном 0,8 при учете замены синхронных двигателей.

Как видно, синхронные двигатели полностью выполняют свою роль по компенсации реактивной мощности, но они имеют ряд недостатков, такие как: занимают слишком много места в сравнении с асинхронными двигателями; требуют постоянных ремонтных мероприятий, таких как замена щеточных механизмов, подшипников; постоянный расход смазочных материалов и т.д.

Для устранения этих недостатков и усовершенствования технологических процессов необходимо заменить синхронные двигатели на асинхронные, а на место устройства, компенсирующего реактивную мощность установить УКРМ.

Расчеты будут проводится с учетом следующих двигателей и учетом того, что $\cos\phi$ замененных двигателей будет равен 0,8.

Таблица 3- количество и мощность двигателей

Тип двигателя	Количество	Мощность кВт
Асинхронный	5	700

Асинхронный	2	160
Асинхронный	2	800
Асинхронный	3	2000
Асинхронный	5	1600
Асинхронный	2	315
Асинхронный	2	200
Асинхронный	3	250

Определяем сумму номинальных мощностей по формуле:

$$P_{ном\Sigma} = \sum P_N \cdot n_N, \quad (9)$$

где P_N - номинальная мощность двигателя, кВт;

n_N - количество двигателей.

Далее рассчитываем среднюю активную и реактивные мощности:

$$P_{cpN} = P_N + k_{uN}, \quad (10)$$

$$Q_{cpN} = P_{cpN} + tg\phi_N \quad (11)$$

где k_{uN} - коэффициент использования;

Определяем суммарную среднюю мощность:

$$P_{cp\Sigma} = \sum P_{cpN} \cdot n_N, \quad (12)$$

$$Q_{cp\Sigma} = \sum Q_{cpN} \cdot n_N \quad (13)$$

Рассчитываем активную и реактивную расчетную мощность при $K_p=1,03$

$$P_p = k_p \cdot P_{cp\Sigma} , \quad (14)$$

$$Q_p = k_p \cdot Q_{cp\Sigma} , \quad (15)$$

Полная расчетная мощность рассчитывается по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} , \quad (16)$$

Расчетный ток в сети определяется по формуле:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} * 6} \quad (17)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 4

Таблица 4- результаты расчетов

$P_{ном\Sigma}$, кВт	$P_{cp\Sigma}$, кВт	$Q_{cp\Sigma}$, кВар	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	I_{p1} , А
21200	19080	16090	19650	11750	22900	2203

3.6 Расчет мощностей при $\cos\phi$ равном 0,94 и выбор укрм для потребителей 6 кв.

Далее нужно рассчитать мощности и ток при $\cos\phi$ равном 0,94

Определяем сумму номинальных мощностей по формуле:

$$P_{ном\Sigma} = \sum P_N \cdot n_N, \quad (18)$$

где P_N - номинальная мощность двигателя, кВт;

n_N - количество двигателей.

Далее рассчитываем среднюю активную и реактивные мощности:

$$P_{cpN} = P_N + k_{uN}, \quad (19)$$

$$Q_{cpN} = P_{cpN} + tg\phi_N \quad (20)$$

где k_{uN} - коэффициент использования;

Определяем суммарную среднюю мощность:

$$P_{cp\Sigma} = \sum P_{cpN} \cdot n_N, \quad (21)$$

$$Q_{cp\Sigma} = \sum Q_{cpN} \cdot n_N \quad (22)$$

Рассчитываем активную и реактивную расчетную мощность при $K_p=1,03$:

$$P_p = k_p \cdot P_{cp\Sigma}, \quad (23)$$

$$Q_p = k_p \cdot Q_{cp\Sigma}, \quad (24)$$

Полная расчетная мощность рассчитывается по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (25)$$

Расчетный ток в сети определяется по формуле:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} * 6} \quad (26)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 5- результаты расчётов

$P_{ном\Sigma}$,	$P_{cp\Sigma}$,	$Q_{cp\Sigma}$,	P_p ,	Q_p ,	S_p ,	I_{p2} ,
кВт	кВт	кВар	кВт	кВар	кВА	А
21200	19080	5129	19650	5542	2045	1967

Из этих данных можно рассчитать мощность установки, требуемой для компенсации реактивной мощности по формуле:

$$Q_{уст} = Q_{N1} - Q_{N2} \quad (27)$$

$$Q_{уст} = 6208 \text{ кВар.}$$

Выбираем конденсаторную установку ВАРНЕТ-Н 6300 и устанавливаем ее на КРУН 6 кВ.

Рассчитаем расчетный ток, требуемый для кабеля данной компенсаторной установки по формуле:

$$I_p = \frac{Q_{уст}}{\sqrt{3} * 6} \quad (28)$$

$$I_p = 608 \text{ А.}$$

Выбираем кабель АПвБВ 3 х 120/25

3.7 Основные показатели ВАРНЕТ

3.7.1 Основные параметры

УКРМ соответствуют требованиям технических условий и комплекта документации БЭТЗ.674312.007 СБ. Габаритные, установочные и присоединительные размеры КРМ соответствуют размерам, указанным в приложении А. Схемы электрические принципиальные установок соответствуют указанным на рисунках приложения Б.

По заказу потребителей допускается изготовление установок с параметрами и характеристиками, расширяющими область применения УКРМ. При этом параметры и характеристики, не установленные настоящими техническими условиями, будут соответствовать требованиям договора (контракта) или протокола по ГОСТ 2.124-85

3.7.2 Технические характеристики

Установки допускают работу при повышении действующего значения напряжения до 1,1 номинального в течение 12 часов 8 сутки и повышении действующего значения тока до 1,3 номинального длительно, получаемого как за счет повышения напряжения, так и за счет высших гармоник, или того и другого вместе, независимо от гармонического состава тока.

Отношение максимального значения емкости, измеренного между двумя любыми выводами, к минимальному не превышает 1,06.

Сопротивление изоляции цепей управления, измерения и сигнализации и блокировки установок не менее 1 МОм.

Изоляция цепей управления, измерения сигнализации и блокировки установок выдерживает испытательное напряжение 1000 В переменного тока частоты 50 Гц.

3.7.3 Конструкция ячеек

Конструктивно УКРМ состоит из одной ячейки ввода и конденсаторных ячеек, количество которых зависит от мощности установки.

Установки имеют универсальный конструктив, позволяющий осуществить левостороннее и правостороннее присоединение ячейки ввода.

Ячейки представляют собой сборно-сварные каркасные металлические шкафы. Внутри размещена аппаратура главных и вспомогательных цепей. Доступ в ячейки обеспечен через двери со стороны фасада. 3.2. ИЗОЛЯЦИЯ

Изоляция установок удовлетворяет требованиям по классу 01 в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75. Изоляция установок удовлетворяет требованиям ГОСТ 1516.3. На время проведения испытаний конденсаторы должны быть отключены.

Конденсаторы проходят все необходимые испытания на заводе-производителе конденсаторов.

3.7.4 Конденсаторы

В установках применяются однофазные или трехфазные самовосстанавливающиеся конденсаторы встроенными разрядными резисторами, которые обеспечивают снижение амплитудного значения напряжения на установках до 50 В за время не более 5 мин после отключения установок от электросети.

Конденсаторы имеют в своем составе плавкие предохранители, которые встроены во внутрь корпуса и последовательно соединены с каждой секцией. При пробое секции соответствующий предохранитель должен срабатывать.

При коротком замыкании вне конденсатора предохранители не должны срабатывать. Конденсаторы должны допускать длительную работу:

при повышении действующего значения тока до 1,3 от тока, полученного при номинальном напряжении и номинальной частоте, как за счет повышения напряжения, так и за счет высших гармонических или за счет того и другого вместе независимо от гармонического состава тока.

С учетом предельного отклонения емкости плюс 10% наибольший допустимый ток может быть 1,43 номинального тока конденсатора.

Трехфазные конденсаторы подключаются параллельно, а двухфазные по схеме "треугольник".

Все металлические части конденсаторов имеют защитные покрытия, стойкие к атмосферным воздействиям.

Конденсаторы пропитаны экологически чистой жидкостью, которая является неопасным продуктом и по воздействию на организм человека относится к 3-му классу опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007.

Конденсаторы, отслужившие срок службы или поврежденные в процессе монтажа и эксплуатации, подлежат утилизации (корпус, изоляторы, токоотводы), а выемная часть подлежит захоронению в специально отведенных местах, изолированных от источников воды в соответствии с санитарными нормами.

3.7.5 Выключатель

Для коммутации регулируемых ступеней (тип С) применяются выключатели ВВ/TEL-10/20-1000 У2 исп.51.

Выключатели имеют по 12 блок - контактов (6 нормально-замкнутых и 6 нормально-разомкнутых) для использования во внешних цепях управления и сигнализации, а также 1 служебный нормально-замкнутый блок-контакт, обеспечивающий нормальную и согласованную работу устройства управления и выключателя. Их наличие позволяет ограничить пусковой ток включения конденсаторов до значений, безопасных как для самих конденсаторов, так и для коммутационной аппаратуры. При достижении выключателем ресурса в 50 000 операций «ВО» предписывается проведение

операций планово-предупредительного ремонта, который включает в себя следующий перечень мер:

внешний осмотр состояния трущихся частей привода и магнитной системы;

проведение операций ТО.

Для управления вакуумным выключателем на двери регулируемой ступени устанавливается блок управления серии TEL.

3.7.6 Реакторы

При коммутации батарей выключателями для ограничения тока заряда применены токоограничивающие реакторы типа RMV-260 на напряжение 10 кВ. Реакторы данной серии имеют два габарита и отличаются по электрическим характеристикам. Крепежные элементы универсальны и подходят для крепления реактора любого из двух габаритов.

3.7.8 Трансформаторы

В вводной ячейке установок серий ВАРНЕТ-Х-Х-1-Х/Х УЗ устанавливаются трансформаторы типа ТЛО-10.

Они предназначены для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам и устройствам защиты и управления, а также для изолирования цепей вторичных соединений от высокого напряжения в комплектных распределительных устройствах переменного тока на класс напряжения до 10 кВ.

Трансформаторы тока ТЛО-10 изготавливаются с количеством вторичных обмоток от одной до пяти.

Трансформаторы тока ТЛО-10 изготавливаются в четырех габаритах. Выбор габарита обусловлен сочетанием количества обмоток и требуемых технических параметров.

3.8 Синхронный двигатель как компенсатор реактивной мощности

Большинство промышленных приемников на этапе эксплуатации потребляют сеть в дополнение к активной и реактивной мощности. Основными потребителями реактивной мощности являются: асинхронные

двигатели, трансформаторы, воздушные линии, дроссели, преобразователи и другие системы. Передача значительного количества реактивной мощности по линиям и через трансформаторы системы электропитания невыгодна по следующим основным причинам: 1) Дальнейшие потери активной мощности и энергии происходят во всех элементах системы электропитания из-за нагрузки на их реактивную мощность. 2) Возникают дальнейшие потери напряжения. 3) Эффективность систем электропитания и трансформаторов снижается. Поэтому рекомендуется уменьшить потребляемую реактивную мощность. В качестве компенсационных устройств используются конденсаторные батареи, синхронные двигатели и синхронные компенсаторы.

Синхронные двигатели, используемые для электроприводов, обычно изготавливаются с номинальным коэффициентом мощности 0,9 с током смещения. Они являются эффективным средством уравнивания реактивной мощности нагрузки. Реактивная мощность, которую они вырабатывают, определяется параметрами и режимом работы двигателей и сети. Они должны быть подключены как можно короче. Использование синхронных двигателей в промышленных компаниях может быть целесообразным в случаях, когда: 1) установка синхронных двигателей на приводных механизмах вместо асинхронных двигателей осуществляется в технологических условиях, если это возможно; 2) Установка синхронных двигателей с мощностью, превышающей мощность, требуемую механизмом привода. Синхронные двигатели имеют следующие преимущества перед асинхронными двигателями: а) возможность их использования в качестве компенсационных устройств при относительно низких дополнительных затратах. б) экономия производства при ограниченном числе оборотов, в то время как холостые передачи от двигателя и рабочей машины не требуются в) меньшая зависимость крутящего момента от колебаний напряжения г) более высокая производительность рабочего агрегата с синхронным электроприводом, поскольку скорость двигателя не зависит от нагрузки; д)

меньшие потери активной мощности, поскольку КПД синхронных двигателей выше, чем КПД асинхронных двигателей.

Компенсирующая способность двигателя определяется нагрузкой на его валу, напряжением, подведенным к зажимам двигателя, и то-ком возбуждения. С уменьшением тока возбуждения ниже номинального компенсирующая способность двигателя снижается. Обычно в практических условиях нагрузка синхронных двигателей на валу составляет (50—100)% от номинальной. При такой нагрузке, а также при регулировании напряжения, подводимого к электро-двигателю можно использовать электроприводы с синхронными двигателями в качестве компенсаторов реактивной мощности при работе их с опережающим коэффициентом мощности.

3.9 Синхронные компенсаторы. Компенсирующие устройства реактивных нагрузок.

Синхронный компенсатор представляет собой легкий синхронный двигатель, который работает в нейтральном режиме, т.е. без нагрузки на вал. Во время перевозбуждения синхронный компенсатор генерирует основную реактивную мощность и потребляет задержанную реактивную мощность при возбуждении. Это свойство синхронных компенсаторов используется как для увеличения коэффициента мощности, так и для регулирования напряжения в электрических сетях.

Положительными свойствами синхронных компенсаторов как источников реактивной мощности являются: а) возможность автоматического и автоматического регулирования генерируемой реактивной мощности, б) независимость генерации реактивной мощности от напряжения на ваших шинах, достаточная термическая и динамическая стабильность обмоток компенсатора в случае коротких замыканий и возможность ремонта поврежденного синхронного компенсатора посредством ремонтных работ, в) высокая надежность.

Недостатками синхронных компенсаторов являются:

а) высокие удельные затраты и, следовательно, высокие относительные капитальные затраты на компенсацию; б) значительно более высокое удельное потребление активной мощности для компенсации по сравнению со статическими конденсаторами; в) большая производственная площадь и шум во время работы.

Указанные особенности синхронных компенсаторов, а также возможность их пуска только от источников питания большой мощности ограничивают их применение на подстанциях энергетических систем.

Однако компенсаторы установлены на открытом воздухе, что значительно удешевляет затраты.

Конденсаторные установки (другие названия: батарея статических конденсаторов «БСК», устройство компенсации реактивной мощности «УКРМ»)

Электрическая система для компенсации реактивной мощности. Конструктивно это конденсатор (открытые «банки»), обычно соединенный треугольником и разделенный на несколько фаз с разными емкостями, и устройство для их управления. Блок управления часто способен автоматически поддерживать определенный коэффициент мощности на желаемом уровне, изменяя количество «банок», содержащихся в сети.

Кроме того, конденсаторная установка может содержать фильтры с высшими гармониками.

Для безопасного обслуживания каждый конденсатор в системе снабжен разрядной цепью для удаления остаточного заряда, когда он отключен от сети.

4 РАСЧЕТ РЕАКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ НА СТОРОНЕ 0,4

4.1 Описание потребителей 0,4 на руднике «Пионер»

Нагрузка на стороне 0,4 имеет в основном индуктивный характер. Очень много присутствует асинхронных двигателей, осветительной нагрузки, а так же индукционные печи, обогреватели и т.д. Двигатели работают на вытяжки, кранбалки, насосы и другие механизмы. Для удобства расчетов возьмем показания по активным и реактивным мощностям, снятых со счетчиков на подстанции «Пионер»

Так как потребителей на стороне очень много, для удобства были взяты показания мощностей с счетчиков учета, находящихся на ТП и КТП.

Таблица 6- действующие мощности на КТП и ТП

Наименование секции	P_N , кВт/ч	Q_N , кВАр/ч	Действующий $\cos\phi$
1 секция	178,2	161,8	0,74
2 секция	349	224,9	0,84
1 секция	96,2	70,6	0,81
2 секция	2,3	4,2	0,48
1 секция	346,33	250,25	0,81
2 секция	126,21	129,25	0,70
1 секция	293,87	247	0,77
2 секция	511,66	257	0,89
1 секция	99,21	49,16	0,90
2 секция	354,42	215,96	0,85

1 секция	96,6	47,13	0,90
2 секция	151,13	64,38	0,92
1 секция	57,92	11,75	0,98
2 секция	96,54	42,67	0,91
1 секция	240	187,9	0,79
1 секция	0,572	0,54	0,73
1 секция	0,29	0,23	0,78
1 секция	0,8	0,52	0,84
1 секция	102,1	63,75	0,85
2 секция	104,6	97,5	0,73

4.2 Расчет по потребителям 0,4 кВ

Рассчитаем требуемую мощность компенсации по формуле:

$$Q_{уст} = Q_1 - Q_2 \quad (29)$$

Рассчитаем косинус при полной работе УКРМ по формуле:

$$\cos \phi_p = \frac{P_N}{\sqrt{P_N^2 + (Q_p - Q_{ком})^2}} \quad (30)$$

Далее находим ток при действующем $\cos \phi$ по формуле:

$$I_{\cos \phi} = P / \cos \phi_0 * 0,4 \quad (31)$$

Так же рассчитываем ток при компенсации по формуле:

$$I_{нк} = P / 0,94 * 0,4 \quad (32)$$

Далее находим разницу этих токов по формуле:

$$I_{раз} = I_{\delta \cos \phi} - I_{нк} \quad (33)$$

И наконец находим количество энергии, сэкономленной в сутки по формуле:

$$\Delta P_N = I_{разN} * 0,4 * 24 \quad (34)$$

Расчеты для низкой стороны делаем по формулам как для высокой стороны. Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7- результаты расчётов

Наименование секции	Q при $\cos \phi = 0,94$, к Вар/ч	$Q_{уст}$, кВар	$Q_{укрм}$, кВар	$\cos \phi$ при включенном УКРМ	$I_{\delta \cos \phi}$, А	$I_{нк}$, А	$I_{раз}$, А	P_N , кВт/ч
1 секция	64,15	97,64	150	1,00	601	473,9	127	48,05
2 секция	125,	99,26	150	0,98	1037	928	109	41,28
1 секция	34,6	35,96	100	0,96	298	255	42	15,97
2 секция	0,8	3,3	0	0,48	11,9	6,12	5,8	2,20

1 секция	105,79	141,21	300	0,98	959,72	781,57	178,1462285	66,98
2 секция	184,20	72,80	100	0,96	1431,44	1360,80	70,64579491	26,56
1 секция	35,72	13,44	0	0,90	276,80	263,86	12,94826045	4,87
2 секция	127,59	88,37	100	0,95	1037,58	942,61	94,97571618	35,71
1 секция	34,78	12,35	0	0,90	268,71	256,91	11,79495106	4,43
2 секция	54,41	9,97	0	0,92	410,68	401,94	8,736770502	3,29
1 секция	20,8512	-9,1012	0	0,98	147,75	154,04	-6,29299947	-2,37
2 секция	34,7544	7,9156	0	0,91	263,87	256,76	7,11847289	2,68
1 секция	86,4	101,5	200	1,00	762,01	638,30	123,7159481	46,52
1 секция	0,20592	0,33408	0	0,73	1,97	1,52	0,445294023	0,17
1 секция	0,1044	0,1256	0	0,78	0,93	0,77	0,15406118	0,06
1 секция	0,288	0,232	0	0,84	2,39	2,13	0,257712514	0,10
1 секция	36,76	26,99	100	0,94	300,92	271,54	29,37762414	11,05
2 секция	37,66	59,84	100	1,00	357,49	278,19	79,29461177	29,81

Как видно, из данных расчетов, необходимая 11 укром для полного выравнивания cosφ до нужного значения.

Рассчитаем кабели для этик установок по формуле:

$$I_{pN} = \frac{Q_{устN}}{\sqrt{3} * 0,4} \quad (35)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 8.

Таблица 8- результаты расчётов

№ Устано вки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Q Устано вки, кВар	150	150	100	250	100	300	100	100	200	100	100
I устано вки, А	220	220	147	367	147	441	147	147	294	147	147
Марка кабеля	ВВГ нг 5x1 20	ВВГ нг 5x1 20	ВВГ нг 5x3 5	ВВГ нг 5x1 85	ВВГ нг 5x3 5	ВВГ нг 5x2 40	ВВГ нг 5x3 5	ВВГ нг 5x3 5	ВВГ нг 5x7 0	ВВГ нг 5x3 5	ВВГ нг 5x3 5

Выбираем УКРМы ВАРНЕТ, технические характеристики которого указаны в пункте 3.7.

4.3 Технические сложности

Широкое использование клапанных преобразователей в промышленности означает, что необходимо решить проблемы, связанные с уменьшением их влияния на электрическую сеть, и особенно проблемы компенсации реактивной мощности.

Известно, что наиболее экономичным средством компенсации реактивной мощности являются конденсаторные батареи. Это связано с их преимуществами перед другими средствами компенсации реактивной мощности, а именно: возможностью использовать как низкое, так и высокое напряжение; низкие потери активной мощности (0,0025-0,005 кВт / квар); самая низкая удельная стоимость (за 1 квар) по сравнению с другими компенсационными устройствами; простота эксплуатации (из-за отсутствия вращающихся и абразивных деталей); простота установки (легкий вес, отсутствие фундамента); Возможность установки любого сухого помещения.

В сетях с высоким уровнем высших гармоник, генерируемых нелинейными нагрузками, использование обычных устройств компенсации реактивной мощности, предназначенных для синусоидальных токов и напряжений, связано с техническими трудностями.

Когда необходимо компенсировать нагрузки с помощью быстроменяющейся реактивной мощности, универсальное регулирование мощности батареи конденсаторов путем соединения или отсоединения ее секций с помощью механических переключателей является сложным и зачастую невозможным механическим сопротивлением из-за высокой стоимости, низкой скорости и низкой скорости переключатель и постепенное регулирование зарядного устройства. Кроме того, могут возникать сверхтоки с переключением при ударе, в зависимости от того, когда батарея конденсаторов подключена к сети, и отрицательного влияния перегрузок по току на более высокой частоте гармоники, которые генерируются нелинейными нагрузками, на конденсаторы.

Исследование процесса работы конденсаторных блоков на высших гармониках в сети электропитания, в частности при использовании вентиляльных преобразователей, имеет большое практическое значение для определения возможности промышленного использования конденсаторных батарей в промышленных системах электропитания.

Практика промышленной компании показывает, что конденсаторные батареи, работающие при несинусоидальном напряжении, в некоторых случаях быстро выходят из строя из-за разбухания и взрыва. Причиной разрушения конденсаторов является перегрузка более высокими гармоническими токами, которая обычно возникает из-за того, что батареи конденсаторов изменяют частотные характеристики систем и способствуют развитию резонанса тока. Когда блок конденсаторов подключен к шинам подстанции, которая обеспечивает сильную нагрузку клапана, независимо от значения емкости батареи, всегда существует группа гармоник, в которой конденсаторы входят (или близки) к режиму текущего резонанса.) с дросселем линии.

Токи резонансной группы гармоник, генерируемые затворным преобразователем в сети, значительно уменьшаются, и мы можем сказать, что гармоники резонансной группы подаются непосредственно на конденсаторную батарею. В то же время емкость конденсаторной батареи уменьшается с увеличением числа гармоник. В результате через ВС протекают значительные токи резонансных гармоник, сравнимые и иногда значительно превышающие ток первой гармоники. Перегрузки по току на конденсаторах допускают напряжение до 30% - до 10% от номинальных значений. Из-за возникновения резонансных явлений перегрузка по току может достигать 400-500%, поскольку токи резонансных частот могут значительно превышать ток первой гармоники. При выборе источника питания и положения установки конденсаторных батарей необходимо учитывать возможные резонансы тока и напряжения в одной из гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой.

Например, конденсаторные батареи общей емкостью 11 500 кВар были установлены в одной из промышленных компаний для компенсации реактивной мощности в рамках проекта. Однако оказалось невозможным ввести их в действие, потому что схема имела более высокие гармоники тока, которые возникали во время работы полупроводниковых выпрямительных блоков. Высокие пики тока достигли 150-180% от номинального значения, что привело к выходу из строя конденсаторов: после 5 часов работы 50 конденсаторных батарей общей емкостью 1400 кВА вышли из строя. В случае «ненормального гула» в конденсаторных батареях отключение масла отключает максимальную защиту. В то же время нормальная работа систем невозможна без компенсации реактивной мощности, поскольку коэффициент мощности составляет 0,57-0,6.

Работу батарей конденсаторов в условиях несинусоидального напряжения необходимо рассматривать с позиций взаимного влияния высших гармоник питающей сети и батарей конденсаторов.

Проведенные многочисленные экспериментальные исследования доказали, что в системах электроснабжения промышленных предприятий, имеющих мощные вентильные преобразователи, несинусоидальность напряжения, как правило, превышает нормируемые пределы, достигая в ряде случаев 20%. Поэтому на предприятиях с вентильной нагрузкой вопросы компенсации реактивной мощности до конца не решены.

Расчеты параметров схемы включения конденсаторной батареи с вентильным преобразователем с целью компенсации реактивной мощности показывают, что при этом общее действующее значение тока конденсаторной батареи во много раз превысит допустимое, что приведет к ее повреждению. Общий коэффициент несинусоидальности напряжения также резко увеличивается в точке присоединения конденсаторной батареи.

На рисунке 4 дана схема распределительной сети, питающей тиристорный преобразователь, в которой для компенсации реактивной мощности используется конденсаторная установка.

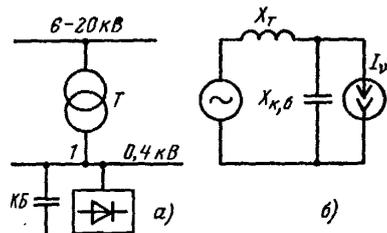


Рисунок 4 – Схема подключения конденсатора к преобразовательному трансформатору (а) и схема замещения (б)

На рисунках 5–7 показаны напряжение питающей сети и токи батареи конденсаторов различной мощности, подключенных для компенсации реактивной мощности к вентильной нагрузке.

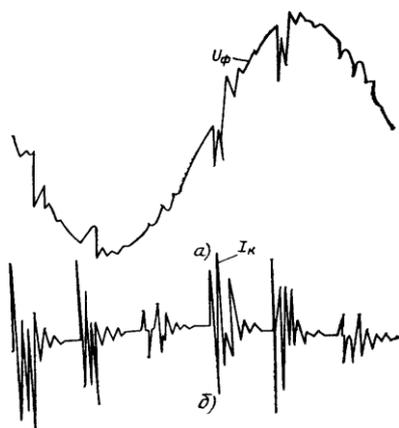


Рисунок 5 – Осциллограммы, полученные на физической модели (рис. 7): а – фазного напряжения в точке 1; б – тока в конденсаторной батарее ($C = 1 \text{ мкФ}$)

Здесь же даны уровни отдельных гармоник тока, протекающих через конденсаторную батарею, и общая перегрузка конденсаторов токами высших гармоник.

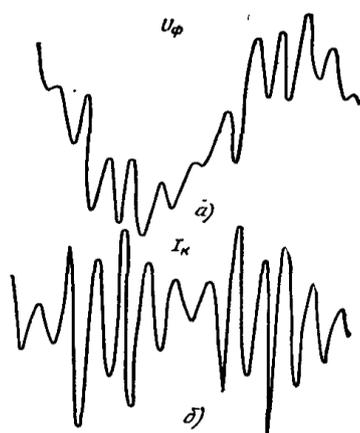


Рисунок 6 – Осциллограммы, полученные на физической модели (рис.7): а – фазного напряжения в точке 1, $K_{НС} = 38 \%$; б – тока в конденсаторной батарее ($C = 15 \text{ мкФ}$)

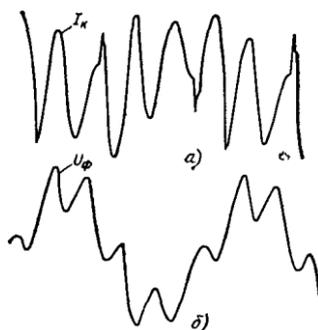


Рисунок 7 – Осциллограммы, полученные на физической модели (рис.7): а – тока в конденсаторной батарее ($C = 70 \text{ мкФ}$); б – фазного напряжения в точке 1, $K_{НС} = 44 \%$

Следовательно, прямое использование конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности в сетях с нагрузками на клапаны является проблематичным. В любом случае необходимо рассчитать текущую перегрузку батарей с использованием резонансной группы гармоник. В некоторых случаях эти вычисления должны проводиться с точностью до гармоник высокого порядка, особенно для банков с конденсаторами малой емкости.

Как упоминалось выше, функции синхронных компенсаторов и возможность их запуска только от источников высокой мощности ограничивают их использование на подстанциях систем электроснабжения. Поэтому низковольтные синхронные двигатели или их использование на подстанциях не могут рассматриваться как компенсаторы реактивной мощности.

5 СТАТИЧЕСКИЕ ТИРИСТОРНЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В случае быстро и быстро меняющихся нагрузок использование статических компенсаторов реактивной мощности становится перспективным и дает возможность инерционного управления реактивной мощностью. В то же время улучшаются условия статической устойчивости всей системы электропитания, что приводит к дальнейшей экономии за счет повышения технико-экономических показателей электрических систем.

Компенсаторы статической реактивной мощности (SCRM) являются многообещающим средством рациональной компенсации реактивной мощности благодаря своим внутренним положительным свойствам, таким как высокоскоростное управление, подавление колебаний напряжения, балансировка нагрузки, отсутствие деталей. вращающийся, регулярное регулирование реактивной мощности, подаваемой в сеть. Кроме того, эти устройства могут обеспечить равномерное и оптимальное распределение напряжений, тем самым уменьшая их потери в распределительных сетях.

На рисунке 8 приведены основные варианты статических компенсирующих устройств. Они содержат фильтры высших гармоник и регулируемый дроссель в различных исполнениях.

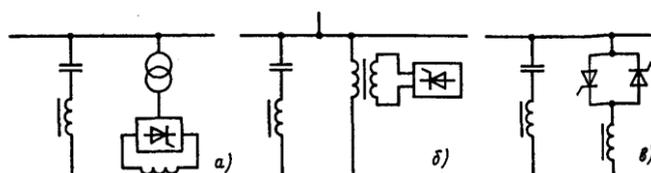


Рисунок 8 – Схемы статических компенсирующих устройств[6]

В настоящее время существует большое количество вариантов схем, которые делятся на три группы:

1) соединить источники реактивной энергии с индуктивным накопителем на стороне постоянного тока (рис. 8, а);

2) Дроссели насыщения с нелинейной вольт-амперной характеристикой (рис. 8, б);

3) Реакторы с линейной вольт-амперной характеристикой и последовательно соединенными контрпараллельно управляемыми клапанами (рис. 8, в).

В то же время SCRM обеспечивает компенсацию реактивной мощности основной частоты, фильтрацию высших гармоник, компенсацию колебаний напряжения и компенсацию сетевого напряжения. Они состоят из контролируемой части, которая обеспечивает управление реактивной мощностью и фильтры энергии, которые позволяют фильтровать высшие гармоники нелинейного тока нагрузки.

Устройства статической компенсации имеют следующие преимущества:

- 1) высокоскоростные колебания реактивной мощности;
- 2) достаточный диапазон регулирования реактивной мощности;
- 3) способность регулировать и потреблять реактивную мощность;
- 4) минимальное искажение напряжения питания.

Основными элементами устройств статической компенсации являются конденсатор и пускатель - накопление электромагнитной энергии - и клапаны (тиристоры), которые обеспечивают быстрое преобразование.

Принцип действия энергии статической реактивной мощности заключается в том, что выпрямленный ток индуктивности преобразователя (дроссель или индуктор с железом) заряжается магнитной энергией, которая инвертируется в сети переменного тока с основным коэффициентом мощности .

С СКРМ, когда клапаны полностью открыты, реактивная мощность системы определяется разницей между мощностью, генерируемой фильтрами, и мощностью, потребляемой реакторами. Когда клапаны

закрываются, мощность, потребляемая реакторами, уменьшается, а когда они полностью закрыты, мощность, генерируемая ИРМ соответствует мощности фильтров.

На рисунке 9, а показана однолинейная схема включения статического компенсирующего устройства с преобразовательной нагрузкой, а на рис. 9, б – ее расчетная схема замещения.

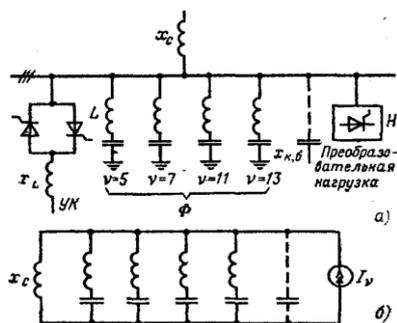


Рисунок 9 – Принципиальная схема присоединения СКРМ к системе электроснабжения (а) и расчетная схема замещения (б)

В некоторых случаях, в дополнение к схемам резонансного фильтра, настроенным на частоты доминирующих верхних гармоник тока нагрузки, в ТКРМ вводятся конденсаторные батареи, соединенные параллельно, для фильтрации гармоник, порядок которых выше частоты настройки резонансных фильтров.

Быстрое развитие мирового производства статических тиристорных компенсаторов (СТК) определяется их преимуществами по сравнению с обычными средствами компенсации реактивной мощности при решении ряда насущных проблем в электроэнергетическом секторе. Эти задачи включают в себя необходимость компенсации реактивной мощности в местах, где потребляется электроэнергия, и на промежуточных станциях в длинных линиях, чтобы повысить стабильность напряжения для потребителей и уменьшить потери в линиях электропередач и электрических сетях потребителей. и увеличить пропускную способность.

Увеличение длины, класса мощности и напряжения передачи электроэнергии на большие расстояния делает его одной из наиболее важных задач, чтобы обеспечить средства для компенсации ограничения внутренних перенапряжений, статической и динамической устойчивости и автоматических повторных включений (АПВ)

В отечественной практике высокоскоростные синхронные компенсаторы типа СК-10000-8 мощностью 7,7 Мвар для напряжения 10 кВ и мощностью 10 Мвар для напряжения 6 кВ используются для уменьшения колебаний напряжения. По данным системы, максимальная скорость изменения реактивной мощности, подаваемой в сеть, составляет 130 Мвар / с, возможна кратковременная работа с перегрузкой в 2 раза. Компенсаторы успешно работают на некоторых металлургических заводах, особенно в системе подачи стана горячей прокатки.

Установленная мощность синхронного компенсатора с той же диаграммой реактивной нагрузки меньше установленной мощности устройства статической компенсации.

Синхронные компенсаторы обладают всеми недостатками вращающихся машин и имеют меньшее быстродействие по сравнению со статическими компенсаторами. Кроме того, в статических компенсирующих устройствах возможно пофазное управление.

На зарубежных металлургических заводах для снижения влияния на питающую сеть резкопеременных нагрузок применяются синхронные компенсаторы с высокой кратностью форсировки напряжения возбуждения и быстродействующей системой регулирования.

Фирма Siemens (ФРГ) выпускает синхронные компенсаторы мощностью 10 МВА с ударной мощностью 30 МВА. Обмотка возбуждения компенсатора питается от нереверсивного тиристорного преобразователя с кратностью форсировки возбуждения по напряжению 13,2.

Фирма Fuji Electric Co совместно с Nisshin Electric Co (Япония) выпускает синхронные компенсаторы мощностью 8 МВА с ударной

мощностью 16 МВА. Компенсатор имеет бесщеточную систему возбуждения с кратностью форсировки по напряжению, равной 2.

Фирма ASEA (Швеция) выпускает синхронные компенсаторы номинальной мощностью 7,5 Мвар с ударной мощностью 30 Мвар.

В таблице 9 представлено качественное сравнение быстродействующих синхронных компенсаторов со статическими компенсирующими устройствами прямой и косвенной компенсации.

Таблица 9- качественное сравнение быстродействующих синхронных компенсаторов

Параметры сравнения	Специальный синхронный компенсатор	Статические компенсирующие устройства	
		прямой компенсации	косвенной компенсации
Скорость регулирования, с	Более 0,06	Менее 0,02	Менее 0,01
Регулирование	Плавное	Ступенчатое	Плавное
Строительная часть	Массивные фундаменты	Фундаменты не требуются, большая гибкость монтажа	
Обслуживание	Смазка, охлаждение и т. д.	Обслуживания практически не требуется	
Отношение $Q_{уст}$ к Q_{max} , отн. ед.	0,5–0,7, имеется возможность перегрузки до 2-х кратной	1,0; перегрузки а не допускаются	2,0; регулируемая индуктивная часть 1,0; емкостная нерегулируемая часть 1,0

Работа на несимметричную нагрузку	Показное управление практически невозможно	Осуществляется пофазное управление практически без дополнительных затрат	
Потери от номинальной мощности, %	2,5 – 4,0	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0
Искажение питающего напряжения	Нет	Нет	Управляемый тиристорами реактор является источником высших гармоник

Устройства статической компенсации имеют многочисленные преимущества перед высокоскоростными синхронными компенсаторами. Основным преимуществом является их более высокая скорость. Также важно реализовать возможность поэтапного управления, которая требуется в сетях с быстро развивающейся асимметричной нагрузкой.

Было разработано много типов статических компенсаторов на основе управляемых дросселей и конденсаторов, в основном с использованием управляемых клапанов (тиристоров). Устройства для прямой и косвенной компенсации являются наиболее распространенными в отечественной и зарубежной практике.

Устройства статической компенсации прямой компенсации выполняют пошаговое регулирование реактивной мощности путем включения и выключения банков конденсаторов или фильтров высших гармоник при изменении реактивной мощности приемников мощности (рис. 10 и 11).

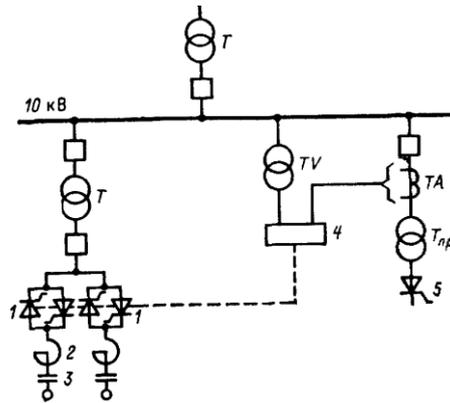


Рисунок 10 – Принципиальная схема компенсирующего устройства прямой компенсации:

На рисунке: 1 – тиристорные ключи; 2 – реактор; 3 – конденсаторная батарея; 4 – устройство для управления тиристорными ключами, 5 – нагрузка (тиристорный преобразователь).

Для обеспечения скорости тиристорные переключатели используются в качестве контакторов или переключателей на каждой фазе. Чтобы исключить переходные процессы во время переключения, которые приводят только к увеличению колебаний напряжения, конденсаторы включаются тиристорными переключателями, если напряжение сети и конденсаторы идентичны по размеру и полярности.

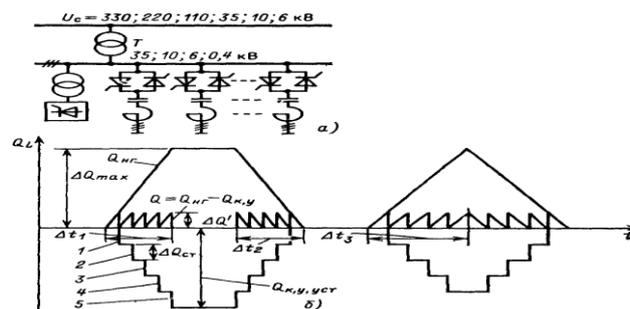


Рисунок 11 – Компенсация реактивной мощности устройством прямой компенсации: а – схема устройства прямой компенсации; б – принцип работы статического компенсирующего устройства прямой компенсации; 1-5 – ступени компенсации

Быстрое действие устройства прямой подачи в основном обеспечивается за счет включения или выключения секционных батарейных конденсаторов с периодическим питательным напряжением (0,02 с) при условии непрерывного изменения реактивной мощности. Одним из преимуществ устройств является то, что они не генерируют в сети выими.

Схемы прямой оплаты требований в в 50-х годах. Такие устройства изготавливаются в Швеции и в Японии.

Фирма ASEA (Швеция) выпускает конденсаторные установки с тиристорным управлением для обеспечения реактивной мощности в системах электроснабжения с вентильными преобразователями и дуговыми печами. Система управления моментом подачи импульса на каждый тиристор. Конденсатор остается напряженным до амплитудного значения напряжения.

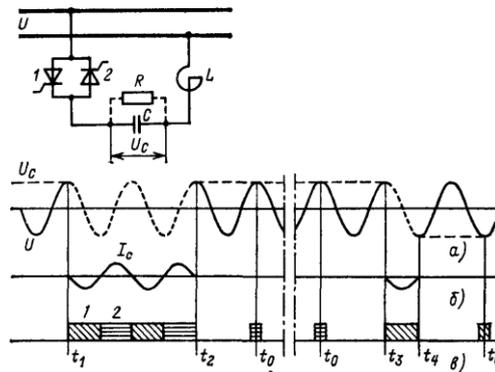


Рисунок 12 – Диаграмма работы статического компенсирующего устройства прямой компенсации:

U – напряжение сети, U_c – напряжение на конденсаторе, I_c – ток конденсатора;

t_0 – импульсы для подзарядки конденсаторов; t_1 – подключение к сети;

t_2 – отключение от сети; t_3 - t_4 – интервал перезарядки

Статические компенсирующие устройства косвенной компенсации (рис. 13) состоят из двух частей: плавно регулирующего индуктивного

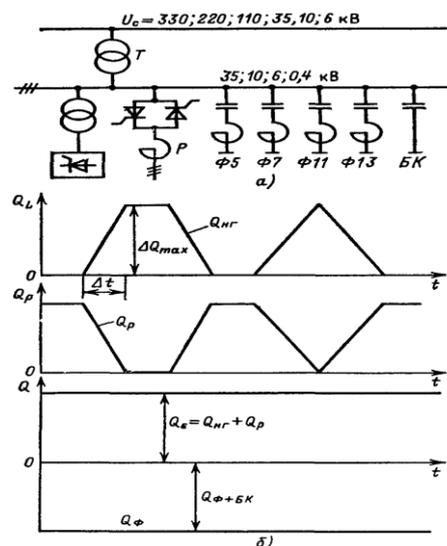


Рисунок 14 – Компенсация реактивной мощности устройством косвенной компенсации: а – схема статического компенсирующего устройства; б – принцип действия устройства косвенной компенсации

Регулирование тока в реакторе может осуществляться различными способами. Например, некоторые зарубежные фирмы применяют управляемый насыщающийся реактор. Однако быстродействие таких устройств можно оценить временем задержки более 0,06 с (три периода питающего напряжения), что недостаточно для эффективной работы компенсатора. Поэтому в настоящее время применяется регулирование тока в реакторе с помощью встречно-параллельно включенных тиристоров. Такая схема обеспечивает плавное регулирование реактивной мощности с временем задержки 0,01 с.

На рисунке 15 приведена схема компенсирующего устройства с управляемыми реакторами с помощью встречно-параллельных тиристоров и нерегулируемой емкости фильтров высших гармоник, используемого для компенсации реактивной мощности при работе дуговых печей (Япония).

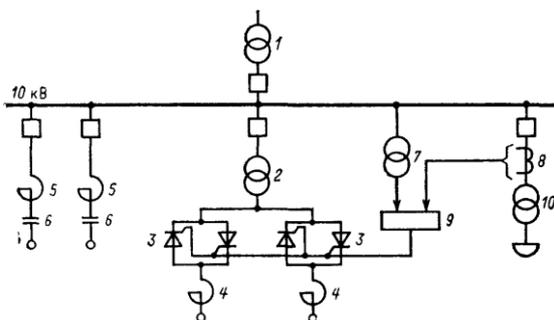


Рисунок 15 – Принципиальная схема статического компенсирующего устройства косвенной компенсации в сети с дуговыми сталеплавильными печами:

На этом рисунке обозначено: 1, 2 – трансформаторы; 3 – тиристорные ключи; 4 – управляемые реакторы; 5, 6 – фильтры высших гармоник; 7, 8 – трансформаторы напряжения и тока; 9 – устройство управления тиристорными ключами; 10 – дуговые сталеплавильные печи.

В настоящее время в распределительных сетях 6-10 кВ промышленных предприятий с быстро развивающейся нагрузкой

в ТКРМ шина до 6–10 кВ при непрерывной работе компенсационных дросселей и сетевых фильтров высших гармоник.

Компоненты реакторов соединены в форме треугольников и образуют регулируемые, стабилизирующие и симметричные элементы. Источником реактивной мощности является установка фильтрующих конденсаторов с высшими гармониками.

Тиристорные компенсаторы должны обеспечивать реактивную мощность, потребляемую сетью, с погрешностью не более 2% от номинальной мощности как для симметричных, так и асимметричных нагрузок с мс. Компоненты реактора, фильтры, реакторы и конденсаторные блоки представляют собой полупроводниковый стабилизатор мощности (ПСМ). Компенсационные реакторы однофазные, магнитопровод с воздушно-масляной полостью

Фильтрующие реакторы являются однофазными и трехфазными. Они выполнены в виде горизонтальных и вертикальных установок, в которых

предусмотрены горизонтальные установки и вертикальные установки равностороннего треугольника. Фильтрующие реакторы имеют нормативные отпуски для изменения номинальной индуктивности.

Конденсаторные блоки расположены в три фазы и соединены по схеме «две звезды», нейтральные проводники которой соединены через трансформатор тока, который является сигнальным датчиком, когда дисбаланс емкости находится в лучах звезды.

Конструктивно конденсаторные блоки силовых фильтров выполнены в виде двухступенчатой стойки с вертикальной установкой силовых конденсаторов типа КЭКФ с напряжением 4,4; 6,6; 7,3 кВ соединены параллельно и защищены предохранителями ПКК-411.

Технические характеристики и состав ТКРМ приведены в таблице 10.

Таблица 10- технические характеристики и состав ТКРМ

U с, к В	Конденсатор		Стабилизатор		Компенсирующий реактор		
	Тип	Q, квар	Тип	Ном. ток, А	Тип	Ном. ток, А	L, мГн
6	ТКРМ- 6,3/6	6,3 12,5	ПСМ- 6,3/6	335 670	РКОМ- 3800/6	335 670	23,6 11,7
	ТКРМ- 12,5/6	20	ПСМ- 12,5/6	1060	РКОМ- 7500/6	1060	7,5
	ТКРМ- 20/6		ПСМ- 20/6		РКОМ- 12000/6		

10	ТКРМ-	6,3	ПСМ-	200	РКОМ-	200	67
	6,3/10	12,5	6,3/10	400	4000/10	400	33,5
	ТКРМ-	20	ПСМ-	630	РКОМ-	630	21,5
	12,5/10	40	12,5/10	1250	7800/10	1250	10,6
	ТКРМ-		ПСМ-		РКОМ-		
	20/10		20/10		12500/10		
	ТКРМ-		ПСМ-		РКОЦД-		
40/10		40/10		24500/10			

Управляющие сигналы в систему управления PSM поступают от трансформаторов тока PSM, трансформаторов тока и напряжения питания. Реактивная мощность, генерируемая в сети, регулируется путем изменения угла управления тиристорами. В этом случае степень и длительность тока, протекающего через компенсационные реакторы, например, Потребление реактивной мощности путем компенсации дросселей постоянной реактивной мощностью, которая генерируется конденсаторными блоками фильтра.

Развитие НТЦ идет в разных направлениях, что определяется его функциональными свойствами. Функции СТК зависят от местоположения и роли общей системы передачи и распределения энергии. На рисунке 16 показана эта система в виде диаграммы состояния, показывающей классы напряжения линий и подстанций, длину линий, основное оборудование подстанций и высокопроизводительных потребителей электроэнергии с переменными нагрузками.

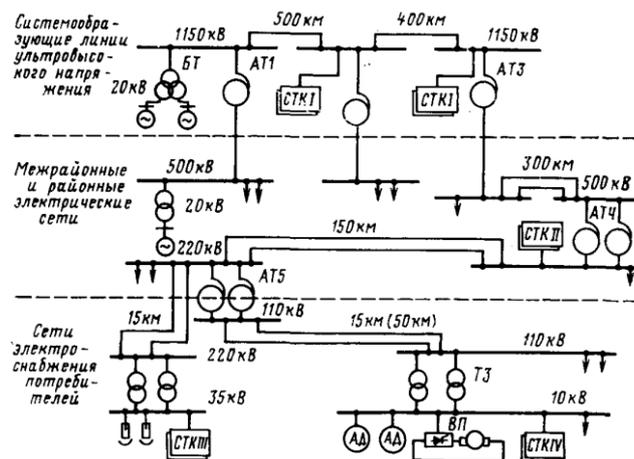


Рисунок 16 – Обобщенная схема передачи и распределения электроэнергии[14]: *АТ* — автотрансформатор; *БТ* — блочный трансформатор; *Т* — трансформатор; *ВП* — вентильный преобразователь; *СТК* — статический тиристорный компенсатор

Линии электропередач, образующие систему с напряжением до 1150 кВ, передают энергию от электростанций в промежуточные районы и подстанции. Компенсаторы типа СТК1 устанавливаются в линии.

Ценные электрические сети между районами имеют напряжение 220-500 кВ. СТК типа II используются на районных подстанциях. В потребительских сетях, которые обычно работают с напряжениями от 6 до 110 кВ, используются СТК третьего и четвертого типа.

Функции СТК четырех типов перечислены в таблице 11. Символ (++) обозначает требуемые функции, символ (+) необязательно указывает, но это возможно.

Таблица 11- функции СТК

№ п/п	Выполняемая функция	Тип СТК			
		I	II	III	IV
1	Компенсация потребляемой реактивной мощности и ее колебаний	+	++	++	++

2	Компенсация генерируемой ли-ниями реактивной мощности при слабой нагрузке электропередачи	+	+	+	+
3	Симметрирование режима электропередачи при отключении одной фазы участка линии	+	+	—	—
4	Симметрирование нагрузки и ослабление фликера напряжения	—	—	++	+
5	Ограничение внутренних перенапряжений в электропередаче	+	+	+	+
6	Обеспечение условий гашения дуги сопровождающего тока в паузе АПВ	+	+	—	—
7	Стабилизация напряжения на шинах промежуточных и конечных подстанций в переходных режимах	+	+	+	+
8	Фильтрация высших гармоник тока нагрузки	—	—	++	+
9	Снижение несинусоидальности тока нагрузки стохастического характера	—	—	++	+

Функции 1 и 2 известны. До появления СТК они были назначены конденсаторным батареям, синхронным компенсаторам и шунтирующим реакторам. Эти функции СТК выполняются с меньшими потерями энергии и меньшими затратами на компенсацию (с учетом потерь в линиях без регулируемых устройств компенсации).

Функции 3 и 4 могут быть оснащены быстродействующим поэтапным управлением компенсатора, которое реализовано только в цепях СТК. Квазистационарные уравнения симметрии относительно просты.

СТК управляется поэтапно в соответствии с алгоритмом, в котором компенсация колебаний реактивной мощности нагрузки, такой как стальная дуговая печь (DSP), и балансировка нагрузки выполняются одновременно. Это ослабляет ослабление колебаний напряжения, вызванных флюктуирующей дугой DSP в каждой фазе и в целом во всех трех фазах сети. Анализ требований к скорости автоматического выключателя СТК показал, что эквивалентная задержка компенсации колебаний реактивной мощности в цепях не должна превышать 5 мс по фазе.

Выравнивание линий электропередачи особенно актуально для длинных одноконтурных линий. Это улучшает тип передачи энергии в случае повреждения одного из участков линии, в котором поврежденный участок работает в двухфазном режиме. Другим эффектом компенсации является установка трансформатора СТК в треугольной обмотке.

Ограничение перенапряжения с помощью СТК (функция 5) особенно важно для коробок передач с очень высоким напряжением (1 МВ или более). Внутренние перенапряжения являются более опасными с этими передачами и определяют степень изоляции.

Высокоскоростное управление СТК в режиме стабилизации напряжения само по себе является эффективным средством ограничения почти стационарных перенапряжений.

Для ограничения импульсного перенапряжения используются специальные элементы, обеспечивающие включение клапанов с задержкой порядка от 10 до 20 мкс. Эти статьи являются частью тиристорные ячейки высоковольтных тиристорных вентилей, а также в электронной системе управления СТК.

Когда клапан включен, напряжение подается на дроссель СТК, что снижает перенапряжение. В этом случае, однако, обычно существует неравенство между положительными и отрицательными полуволнами тока, проходящего через реактор, то есть почти постоянная составляющая появляется в токе. Чтобы избежать этого, система управления СТК должна

включать специальное устройство для быстрого выравнивания полуволны фазового тока.

Балласты и клапаны СТК должны быть рассчитаны на перегрузку из-за перенапряжений. Стальные реакторы должны быть рассчитаны на большие перегрузки, значения которых определяются нелинейностью вольт-амперных характеристик реакторов при напряжении, превышающем номинальное напряжение. Соответствующие перегрузки по току также должны выдерживать тиристорные клапаны СТК.

Способность СТК ограничивать внутренние перенапряжения полностью используется, если она подключена непосредственно к линии и минует трансформаторы подстанции.

Функцию б следует рассматривать в отношении двух типов АПВ: трехфазного и однофазного (ОАПВ).

Проблема обеспечения правильного замыкания является критической для развития передачи переменного тока класса 750 кВ и выше. Напряжение вместо короткого замыкания во время простоя, автоматическое повторное включение увеличивается пропорционально номинальному напряжению линии и ее длине. Следовательно, электрическое сопротивление дугогасительного канала не может возникать в течение ограниченного времени без простоя на линиях класса 1150 кВ, которые компенсируются обычными шунтирующими реакторами.

Увеличение паузы автоматического перезапуска для сильно заряженных линий электропередач может привести к нарушению стабильности параллельной работы. Поэтому должен произойти трехфазный перезапуск на высокой скорости (БАПВ) и пауза до 0,4 с. Однако при участках линий 1150 кВ порядка 400–500 км АВР будет испытывать слабо затухающие колебательные процессы в цепях «линейная мощность - разветвленные реакторы» из-за относительно низких потерь в линейных и разветвленных реакторах. Из-за колебательных процессов при перезапуске

возможны повторные повторения дуги в точке короткого замыкания. В результате БАПВ терпит неудачу.

Подсоединение СТК к поврежденному участку линии улучшает гашение вибраций благодаря воздействию обмоток трансформатора СТК, содержащихся в треугольнике. Обмотки образуют короткое замыкание для синфазных волн напряжения. Специальный контроль моментов, когда клапаны в удерживающей системе АВР активируются, также помогает ослабить вибрации и, таким образом, сократить время простоя БПЛА.

СТК должен играть еще более важную роль в обеспечении успеха однофазного АВР.

Уровень перенапряжения во время ОАПВ ниже, чем с трехфазным АВР. Учитывая, что все типы коротких замыканий в однофазных, очень высоких напряжениях короткого замыкания составляют 80-85%, можно сделать вывод, что обеспечение успеха потока ОАПВ является основополагающим для надежности этих линий.

Однако с ростом класса напряжения в сети проблема ОАПВ становится еще более сложной, чем проблема АВР. Причиной этого является ток зарядки дуги во время паузы ОАПВ, который может достигать 150-200 А при длине линии от 300 до 500 км. Быстрое гашение дуги возможно при условии, что ток не превышает 10-20 А.

Анализ показал, что СТК по схеме на рисунке 20 может обеспечить это условие, например, Уменьшите ток питания дуги до необходимого уровня.

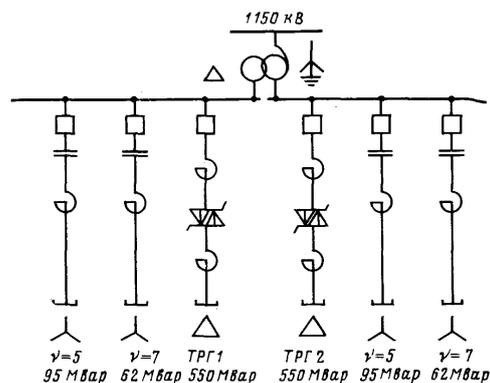


Рисунок 17 – Схема статического тиристорного компенсатора для электропередачи 1150 кВ

Ток питания дуги во время ОАПВ компенсируется тиристорной реакторной группой (ТРГ), которая подключена к обмоткам трансформатора, соединенным со звездой. Установив желаемый режим ТРГ (угол управления клапаном), можно полностью компенсировать емкостную составляющую дополнительного потока.

Если во время ОАПВ линия передает энергию через неповрежденные фазы, дополнительная составляющая тока питания дуги возникает из-за взаимной индуктивности поврежденных и исправных фаз. Анализ, проведенный в отношении параметров линии 1150 кВ длиной до 500 км, показывает, что этот ТЭГ может компенсировать эту составляющую тока дуги, если угол переключения клапана регулируется надлежащим образом.

Следовательно, использование СТК для гашения дуги во время паузы ОАПВ позволяет уменьшить ток зарядки дуги до небольших значений, при которых дуга отключается через 0,1–0,3 с. Это позволяет сократить время цикла ОАПВ до 0,3–0,4, если риск нарушения стабильности передачи энергии практически исключен благодаря однофазному короткому замыканию в линии.

Вкладка напряжения для быстрых изменений потока энергии вдоль линии (функция 7) обеспечивает устойчивость длинных линий электропередачи. Чтобы поддерживать стабильность, регулятор напряжения

должен иметь высокую скорость, значение которой зависит от параметров передачи и длины линии.

Фильтрация гармоник тока нагрузки (функция 8) довольно проста, если спектр тока линейный и быстро уменьшается с увеличением частоты. Этот спектр включает в себя токи тиристорных преобразователей постоянного тока, выпрямители и инверторы для передач постоянного тока, мощные выпрямители для систем электролиза и т. д. Амплитуды гармоник тока шестиимпульсного тиристорного преобразователя показаны на рисунке 18 (точки ТР).

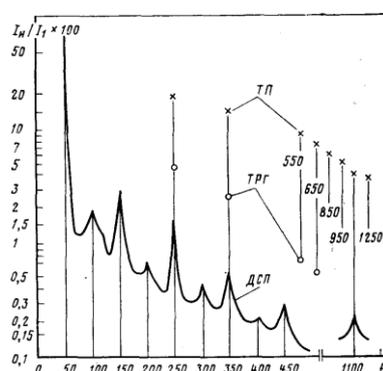


Рисунок 18 – Спектры тока различных потребителей

Группа тиристорных реакторов СТК имеет аналогичный спектр, но значения гармоник намного меньше (рис. 18, точки ТРГ). Для фильтрации токов с линейным спектром используются узкополосные цепочки фильтров, которые настроены на частоты более высоких гармоник.

Гораздо сложнее обеспечить эффективную фильтрацию несинусоидальной составляющей тока нагрузки, например дуговых печей (функция 9), поскольку спектр тока ДСП фиксирован (рис. 18).

Поэтому функции СТК всех четырех типов далеко не исчерпаны компенсацией реактивной мощности. Поэтому можно сказать, что название «Статические компенсаторы реактивной мощности», используемое для СТК, не полностью соответствует действительности и может неправильно привести специалистов по системам электроснабжения и электрическим сетям.

В одном из первых применений вентильного преобразователя для высокоскоростного управления реактивной мощностью выпрямители и инверторы соединены последовательно с общим дросселем и используются в качестве регулируемых потребителей реактивной мощности в качестве одной выпрямительно-инверторной подстанции (ВИП). Схема с тиристорно управляемыми реакторами на переменном токе (ТУР) в сочетании с фильтрокомпенсирующими цепями (ФКЦ) оказалась более перспективной. При разработке ASEA СТК используется в соответствии со схемой секций конденсаторов с тиристорным переключением (ТРК) или комбинацией цепей ТРК и ТУР. Разработка СТК, в основе которой лежат многофазные инверторы с принудительным переключением или тиристорные преобразователи частоты (КТПЧ), началась в последние годы.

Сравнение показателей, выполненных по перечисленным схемам СТК, приведено в таблице 12. При оценке показателя 1 работоспособность тиристорной части учитывалась на основе равенства диапазонов бесконтактной настройки (тиристора) сравниваемых цепей. Потери (индикатор 2) также были отнесены к диапазону бесконтактных настроек. Потери учитываются с учетом национальных и зарубежных данных СТК.

При оценке допустимых перенапряжений (индикатор 3) принимается во внимание, что в контуре ТУР клапаны полностью открываются при напряжениях выше заданного значения, что не только защищает их от повреждения, но и обеспечивает уровень перенапряжения в. Остальные цепи имеют принципиальное значение для перенапряжений, они рассчитаны на определенный коэффициент усиления напряжения (максимально допустимый) и поэтому должны быть оснащены специальными устройствами защиты от перенапряжений (разрядники). При принудительном зажигании от перенапряжения клапаны этих цепей находятся в аварийном режиме.

Наличие импульсного управления в цепях СТК позволяет рассматривать их как импульсные системы в случае небольших возмущений

в стационарном режиме, интервал расстояний (индикатор 4) определяется так называемой частотой импульсов преобразователя.

$$T = T_c/m, \quad (36)$$

где T – интервал съема импульсной системы; T_c – период частоты сети; m – число вентиляей, поочередно коммутируемых за период.

Оценка запаздывания (показатель 5) произведена по материалам исследований зарубежных авторов. Оценка показателя 6 дана с учетом анализа специальных режимов СТК.

Таблица 12- оценка запаздывания

Показатель	Характеристики схем СТК				
	ТУР	ТПК	ТПК — ТУР	ВИ П	КТ ПЧ
1. Относительная мощность тиристорной части	1	2,5	1,8	2,2	3
2. Коэффициент потерь, %	0,4–0,5	0,6- 0,8	0,5– 0,7	2- 2,5	1– 1,5
3. Кратность допустимых перенапряжений	2 и более	1,5	1,5	1,5	1,5
4. Интервал съема при частоте сети 50 Гц, мс	1,7; 3,3	3,3	3,3	3,3	0,5
5. Запаздывание реакции на скачок, мс	0	0–10	0–10	30– 50	20– 30
6. Способность ограничения перенапряжений в точке подключения	есть	нет	нет	нет	нет

На основании приведенной выше оценки свойств различных цепей СТК можно сделать вывод, что по всем показателям (мощность тиристора, удельные потери, скорость, сопротивление удару) цепь реактора, управляемая тиристорами, превосходит другие схемы. Поэтому рекомендуется, чтобы все четыре типа СТК, упомянутых выше на текущем уровне оборудования для преобразования энергии, использовали схему ТУР в сочетании с ФКЦ.

Тиристорные преобразователи с нагрузкой на стороне постоянного тока имеют линейный несинусоидальный спектр тока (рис. 18, точки ТР). В составе СТК необходимо иметь ФКЦ с частотами $\nu = 5,7$ и широкополосную ФКЦ с частотой $\nu = 11$.

Вышеупомянутые схемы СТК послужили основой для разработки серии СТК для напряжения 6; десять; 35 и 110 кВ, проводимые институтами и заводами в электротехнической промышленности. Наиболее важные данные СТК перечислены в таблице 13.

Таблица 13- данные СТК

Напряжение, кВ	Мощность ТРГ, МВ*А	Порядок гармоник ФКЦ	Мощность трехфазной конденсаторной батареи одной ФКЦ, МВ*А	Мощность одной ФКЦ, Мвар
6,3	6,3—20	3, 5, 7,	3	2,6
10,5	12—38	11, 13	2,4—10	2,08—7,8
35	110—240	2,3, 4, 5, 7, 11	9,6 – 34	6,2 – 23
110	550	5	130	95
		7	86	62

На основании исследования можно сделать вывод, что статические тиристорные компенсаторы открывают новые возможности для повышения надежности и качества электрических систем, которые, в дополнение к компенсации реактивной мощности, позволяют ограничивать перенапряжения при переключении и, следовательно, облегчают координацию. Изоляция передающих устройств сверхвысокого напряжения увеличивает вероятность успеха БПЛА и ОАПВ. увеличивает предел мощности по длинным линиям, уравнивает режим, уменьшает потери в линиях и компенсирует влияние быстро развивающейся нагрузки, фильтруя высшие гармоники.

На современном этапе развития технологии высоковольтных преобразователей предпочтительной схемой CNR является тиристорно-тиристорная схема с шестью или двенадцатью импульсами с необходимым набором схем компенсации фильтра.

Схематическое представление одного из типов ВHV, в котором используется ВС с управляющим соединением в виде индуктора с полупроводниковыми вентилями (см. Рисунок 19).

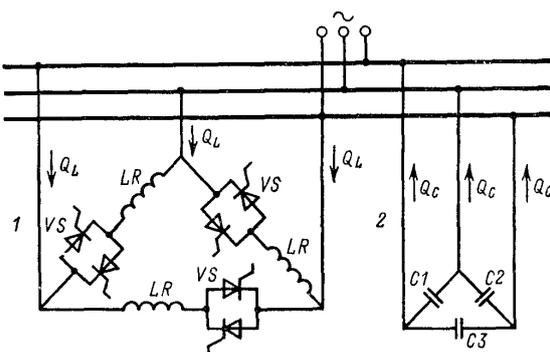


Рисунок 19 – Принципиальная схема ИРМ, применяемого для компенсации реактивной мощности электроприемников с ударными нагрузками:

Индуктивность контролируется группами VS-тиристоров, управляющие электроды которых подключены к цепи управления.

Реактивная мощность Q , генерируемая этой установкой в сети, регулируется переменной реактивной мощностью индуктора Q_I , то есть $Q = Q_c - Q_I$, где Q_c - мощность ВС.

В настоящее время промышленность производит тиристорные компенсаторы реактивной мощности для сети 0,4 кВ с номинальным током 190 А и мощностью 125 кВар типа ТК-125-380. Диапазон регулирования мощности составляет 25-125 кВАр, скорость изменения реактивной мощности - 500 кВар / с.

Силовая часть такого компенсатора представляет собой два трехфазных рулевых моста, соединенных параллельно, нагрузками которых являются изолированные обмотки индуктора, которые расположены на внешних стержнях Ш-образного сердечника.

Основным преимуществом СКРМ ТК-125-380 было его регулярное автоматическое управление реактивной мощностью и стабилизацией сетевого напряжения с помощью тиристорной системы управления. Тиристорный компенсатор может работать в режимах управления или контроля напряжения.

Несмотря на то, что этот компенсатор требует некоторых улучшений, нет сомнений в целесообразности его использования в распределительных сетях на 380 В, особенно с очень переменным потреблением реактивной мощности.

В МЭИ была разработана схема ИРМ, в которой основным рабочим элементом является батарея статических конденсаторов, которая оснащена устройством, с помощью которого можно без проблем изменять мощность. Принципиальная схема ИРМ показана на рисунке 20

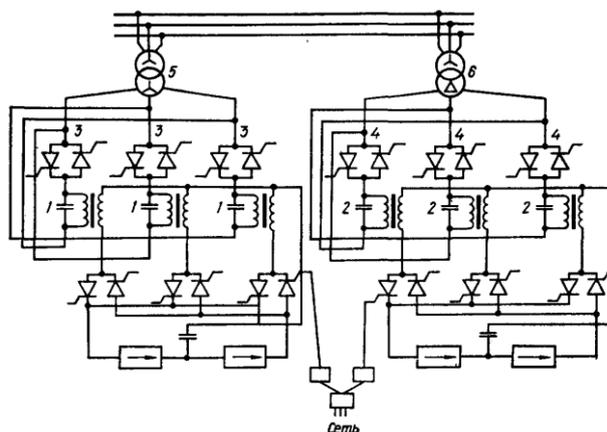


Рисунок 20 – Принципиальная схема ИРМ

Блок управления генерирует импульсы тока в соответствующие моменты времени, которые изменяют напряжение на его соединениях через ВС. Поэтому при переключении клапанов в цепи этого ВС нет пускового тока. Продолжительность протекания тока во время каждой полуволны можно контролировать с момента подачи импульса тока устройством управления.

Устройство состоит из двух симметричных блоков. В каждом блоке трехфазные группы соединены в треугольник. Последовательно с конденсаторами активируются два параллельно подключенных клапана 3 и 4. Аккумуляторы конденсаторов ВК 1 и 2 и клапаны подключены к сети через трехфазный трансформатор. Обмотки трансформаторов 5 и 6 соединены таким образом, что общий ток блоков не содержит гармоник, кратных трем, что, согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, является наиболее значимым в токе ИРМ. Это может быть достигнуто путем обеспечения цепи обмотки звезда-звезда для одного трансформатора и обмотки звезда-треугольник для другого. Если конденсаторы подключены к треугольнику, третья и последующие гармоники тока компенсируются.

Для практически возможных случаев рассматриваемая схема имеет следующие параметры: постоянная времени 0,02 - 0,03 с; Диапазон регулировки мощности (в долях от номинала) 0,3 - 1; Диапазон изменения угла управления клапаном составляет примерно 50 °.

21 показано схематическое представление устройства компенсации фильтра (ФКУ), используемого в промышленности.

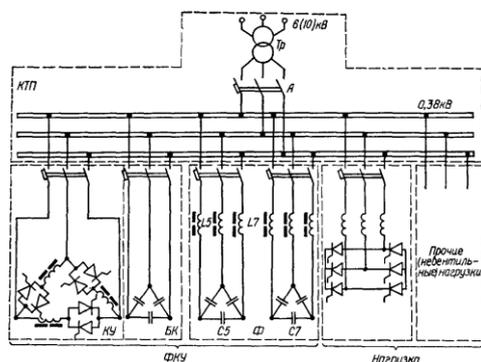


Рисунок 21 – Схема ФКУ для сети 0,4 кВ[10]:

Эксплуатационные данные показали, что фильтр уменьшил текущее содержание пятой гармоники в пять раз. Фильтр использовал дроссель для регулировки индуктивности в диапазоне от +25 до -20% от номинального значения. Если есть фильтры, ВС можно подключить к тем же шинам без защитных дросселей.

Опыт разработки и промышленной эксплуатации фильтров с высшими гармониками доступен за рубежом (США, Япония, Германия и др.). Как правило, это простые блокирующие фильтры, которые состоят из нерегулируемых конденсаторов и дросселей, соединенных последовательно. Фильтрующие реакторы зарубежных фирм обычно изготавливаются без железного сердечника. Это предлагает лучшее качество, но приводит к расширению.

На рисунке 22 показана схема многофункционального устройства, которое построено на основе статических тиристорных компенсаторов, тиристорных переключателей, линейных дросселей и регулируемого ВС. Говорят, что он широко используется, потому что он обеспечивает высокую защиту от высших гармоник и в то же время не имеет вращающихся частей. В этом отношении данное устройство является более совершенным, чем

высокоскоростные синхронные компенсаторы и банки нерегулируемых конденсаторов.

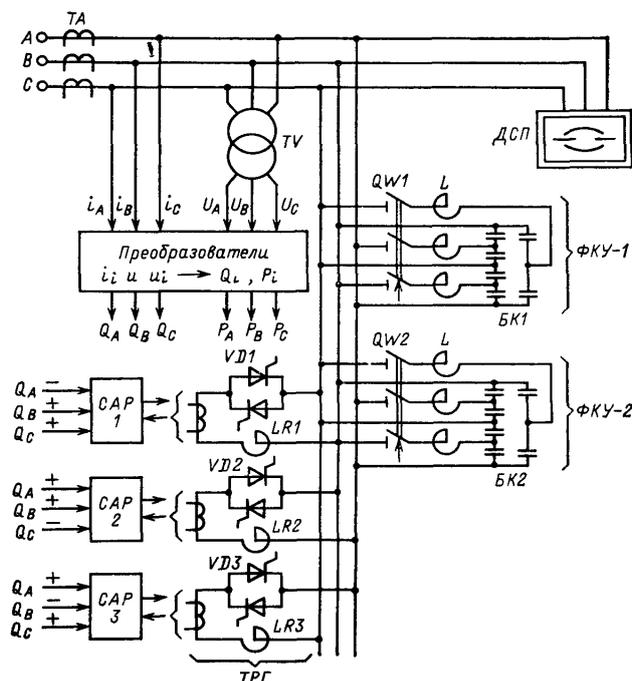


Рисунок 22 – Схема многофункционального быстродействующего статического компенсирующего и симметрирующего устройства

Принцип работы устройства показан на рисунке. Измерительные трансформаторы тока и напряжения передают в систему управления значений токов I_A, I_B, I_C и напряжений U_A, U_B, U_C , а также реактивной Q_A, Q_B, Q_C и активной P_A, P_B, P_C . Тиристорно-реакторная группа, в которую входят тиристорные выключатели $VD1, VD2, VD3$ и LR , управляется системами автоматического управления $CAP-1, 2, 3$. Устройства компенсации фильтров $ФКУ-1$ и $ФКУ-2$ представляют собой комбинированные многополярные трехфазные фильтры гармоник 3, 5 и 7, включающие дроссели и конденсаторные батареи с вакуумными переключателями $QW1$ и $QW2$. Система управления регулирует значение реактивной мощности отдельно в каждой фазе компенсатора, изменяя углы открытия клапанов $VD1 - VD3$ и регулируя индуктивность вместо емкости. Устройства компенсации фильтра сконфигурированы для определенной постоянной мощности, а регулируемые дроссели уменьшают эту постоянную

емкостную мощность до уровня, необходимого для регулирования определенного напряжения.

Nokian Capacitors Ltd. в настоящее время производит и устанавливает. (Финляндия) компенсаторы статического шума для линий электропередач и промышленных предприятий.

Неисправности при нормальной работе линий электропередачи и промышленных распределительных систем могут быть вызваны соединениями линий, отказами линий, нелинейными компонентами, такими как тиристорные контроллеры, и быстро развивающимися активными или реактивными нагрузками.

Проблемы, которые возникают в этом случае, включают: наличие гармоник; Потребность в дополнительной реактивной мощности; Колебания напряжения; Мерцающий эффект (мерцание); несбалансированные нагрузки; Быстрые изменения реактивной мощности. Эти проблемы могут быть решены с помощью быстродействующего статического компенсатора (БСК).

Устройства БСК разрабатываются индивидуально с использованием стандартных компонентов для решения конкретных задач заказчика. Многие из вышеперечисленных проблем могут возникать одновременно. Оптимальное решение определяется технико-экономическими соображениями.

Шум, вызванный гармониками, можно устранить с помощью фильтров. Реактивная мощность может быть обеспечена за счет использования конденсаторов, которые при использовании в качестве фильтра могут корректировать коэффициент мощности и снижать уровень гармоник.

Колебания напряжения можно устранить с помощью индуктивных стабилизаторов с конденсаторами, подключенными через схему управления тиристором.

Эффект мерцания, вызванный быстро развивающейся нагрузкой, можно устранить с помощью индуктивных стабилизаторов, которые подключаются через схему управления тиристором.

Несбалансированные нагрузки могут быть сбалансированы путем выборочного подключения индуктивных стабилизаторов и конденсаторов через цепь управления тиристором.

Точно так же быстрые колебания реактивных нагрузок, таких как, например, В. Искровые плавильные печи могут быть компенсированы.

При использовании системы BSK на сталелитейном заводе были улучшены следующие показатели:

- колебания напряжения были снижены на 80%;
- повышенный уровень напряжения;
- с увеличением уровня напряжения производительность повышается из-за сокращения времени плавления в искровых печах;
- удалось избежать штрафов компании-поставщика электроэнергии за низкий коэффициент мощности;
- мощность, выделяемая в искре из плавильной печи, стабилизировалась, что привело к снижению износа графитовых электродов.
- уровень гармоник в сети подачи электроэнергии, благодаря использованию фильтров, снизился до приемлемого значения.

Статические компенсаторы индивидуально спроектированы таким образом, чтобы каждый компенсатор выполнял свою конкретную задачу и достигал положительного экономического эффекта.

Для проектирования требуется следующая информация: схематическое представление системы, к которой подключен компенсатор; Номинальное напряжение и частота сети; Ток, генерируемый коротким замыканием в общей точке подключения и в зоне любых изменений; информация об изменениях реактивной мощности или информация о соответствующей нагрузке; данные о существующем уровне и характере гармоник или данные о нагрузке, вызывающей гармоники; требования к конструкции, такие как допустимые изменения напряжения и содержания гармоник, требования к компоненту реактивной мощности и скорости системы компенсации;

дополнительные или особые требования, которые применяются к компенсатору; условия окружающей среды.

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Расчет стоимости замены компенсационных устройств на стороне 6 кВ.

В среднем цена УКРМ 6 кВ составляет 500 тыс. руб., а цена асинхронного двигателя в среднем составляет 210 тыс. рублей. На замену пойдут 8 асинхронных двигателей. Так же стоимость кабеля для УКРМ равна 200 тыс. рублей.

Отсюда считаем стоимость модернизации для компенсаторных устройств 6 кВ по формуле:

$$C = C_{ук} + C_{ад} * 8 + C_{каб} \quad (37)$$

Где $C_{ук}$ - это цена за компенсаторное устройство, где $C_{ад}$ - это цена асинхронного двигателя, где $C_{каб}$ - это цена кабеля.

$$C = 2380000 \text{ рубля.}$$

Расчет расходов на покупку устройств компенсации реактивной мощности у потребителей 0,4 кВ.

Стоимость УКРМ 0,4 кВ в среднем составляет 200 тыс. рублей. Стоимость кабеля для каждой УКРМ в среднем будет составлять 40 тыс рублей. Итоговую стоимость можно рассчитать по формуле:

$$C = C_{ук} * 11 + C_{каб} * 11 \quad (38)$$

$$C = 2420000 \text{ рублей.}$$

Рассчитаем окупаемость из-за уменьшения потерь на стороне 0,4 кВ по формуле:

$$C_{окупГ} = \sum \Delta P_{сумN} * 365 * 3,5 \quad (39)$$

Где $\Delta P_{сутN}$ - это сумма потерь на секции КТП или ТП за сутки.

$C_{окупГ} = 13366485$ рублей.

Учитывая окупаемость при установке приборов компенсации реактивной мощности в виде уменьшения затрат на электроэнергию проект окупится за полгода.

7 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

7.1 Безопасность

Руководство по установке компенсации реактивной мощности на номинальное напряжение 0,4 кВ (далее УКРМ-04) направлено на изучение изделия и правил его эксплуатации, а также на контроль установки УКРМ-04 на месте.

Инструкция по эксплуатации содержит наиболее важные технические характеристики, состав, краткое описание проекта, инструкции по технике безопасности, монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортировке, хранению и утилизации установки УКРМ-04.

Если вы используете установку УКРМ-04, в дополнение к этому руководству, вы также должны отметить следующее:

- действующие стандарты и утвержденные в соответствии с методами, предписанными для технической эксплуатации электрических систем;
- действующие нормы безопасности, которые были утверждены в установленном порядке при монтаже и эксплуатации электрических систем;
- Эксплуатационная документация на встроенные устройства УКРМ-04

Данное руководство предназначено для обслуживающего персонала, прошедшего специальную подготовку по технической эксплуатации и обслуживанию панелей управления.

На объекте постоянно ведутся работы по совершенствованию конструкции УКРМ-04. Поэтому возможно, что в клиент УКРМ-04 будут внесены некоторые изменения, которые не содержатся в данном руководстве и не влияют на наиболее важные технические данные и размеры установки.

Все виды монтажных работ должны соответствовать общим требованиям, изложенным в «Правилах установки электрических потребителей» (далее - код для электрического монтажа) и «Правилах безопасности» (ниже). (Код электроустановки), относительно работы

устройств релейной защиты и автоматики и работы с конденсаторными установками.

Эксплуатация незаземленной системы и системы с открытой дверью не допускается.

Для того, чтобы установка работала, допускаются люди, которые изучили это руководство и прошли тест на знание PUE и PER.

7.2 Экологичность

В крупных городах и промышленных центрах загрязняющие вещества образуются в виде различных соединений в воде, которые оказывают общее или так называемое комбинированное воздействие на организм человека, теплокровное рвотное средство, флору и фауну воды на микрофлору очистки сточных вод. Примером этих эффектов может быть:

1) синергия (или улучшение), когда эффект комбинированного влияния нескольких факторов больше, чем простая сумма эффектов, оказываемых индивидуально каждым фактором;

2) Антагонизм, когда одновременный эффект нескольких ядов меньше арифметической суммы эффектов каждого яда;

3) аддитивное или простое сложение эффектов.

Например, кадмий в сочетании с цинком и цианидами улучшает их действие в воде, а мышьяк является антагонистом селена.

Наибольшую опасность для биосферы представляют ионные, в том числе сложные формы тяжелых металлов. Кроме того, комплексообразование может в некоторых случаях уменьшать и увеличивать токсичность «свободных» ионов. Сточные воды гальванических заводов содержат вредные и опасные химические вещества, такие как:

ионные примеси катионов (Cu, Ni, Zn и т. д.) и их гидроксидов (в виде суспензий и коллоидных частиц), которые входят в состав всех электролитов в гальваническом процессе и многих пассивирующих растворов;

- ионы Cl, SO₂, PO₄²⁻, входящие в состав сульфатных электролитов;

ионы аммония и ионы цианида, которые входят в состав сложных электролитов аммиака или цианида;

- синтетические поверхностно-активные вещества, входящие в состав технических средств, моющих и обезжиривающих средств;

-Фенолы, амины и некоторые другие органические соединения, входящие в состав осветляющих добавок для электролитов.

Эти вещества могут попадать в почвенную воду через выброс ила, в то время как большинство токсинов в природе не подвергаются изменениям, которые устраняют их вредное воздействие.

Характер и степень воздействия этих веществ на окружающую среду сильно различаются. Многие химические вещества, выбрасываемые в окружающую среду, в том числе вода и питьевая вода в организме человека, не только токсичны, они канцерогены (они могут вызывать злокачественные опухоли), мутагенные (они могут вызывать изменения в наследовании) и тератогенные (они могут изменять изменения в наследстве) причина). может вызвать уродства у детей). Кадмий, свинец, мышьяк, кобальт, алюминий и литий оказывают тератогенное действие на животных в экспериментальных условиях. Мутагенное действие сульфида цинка, например, Изменения в генах, которые могут происходить не только в поколении, в котором появилась новая черта, но и в последующих. Некоторые неорганические соединения, такие как соединения хрома (IV), могут оказывать аллергическое воздействие на человека.

Даже в очень низких концентрациях многие неорганические соединения оказывают вредное воздействие на рыбу и ее пищевые ресурсы. Токсичные металлы в воде не подлежат самоочищению, наоборот, они вредно влияют на флору и фауну и препятствуют самоочищению воды. Некоторые рыбы покидают районы с высокой концентрацией металлов еще до того, как они накапливаются в опасных концентрациях, тогда как другие остаются и контролируют относительно высокие концентрации токсичных веществ, что создает риск отравления людей, потребляющих эти продукты. В

результате перехода к раствору или образования коллоидных систем тяжелые металлы накапливаются в водных организмах с очень высокими значениями и участвуют во всех фазах круговорота воды, которые также содержатся в пищевой цепи от планктона до свободно плавающих организмов. Тяжелые металлы находятся в наиболее опасной ионной форме в течение длительного времени в тяжелой воде и остаются потенциальной угрозой даже в связанном состоянии (коллоидная форма, почвенные отложения или другие плохо растворимые соединения), что происходит, например, при снижении значения pH (во время кислой среды). Дождь «Дождь» при появлении комплексообразующих агентов и изменении некоторых других показателей.

Во время орошения цветные металлы удаляются из воды в направлении полей и концентрируются там в слое почвы, содержащем гумус, что приводит к снижению способности и производительности фиксации азота и приводит к накоплению металлов выше нормы, разрешенной в кормах и продуктах питания. Содержание металлов в растениях часто в сотни, а иногда и в тысячи раз выше, чем в почвенных растворах.

Никель является одним из тяжелых металлов и присутствует в той или иной форме в составе промышленных сточных вод гальванического производства. Это также оказывает довольно негативное влияние на организм человека, животных и растительность.

Никель в настоящее время присутствует в реках России в концентрациях порядка 0,0008-0,0056 мг / л. Он был обнаружен в водных источниках в среднем в количестве 0,0117 мг / л.

Сульфат и хлорид никеля придают воде металлический вкус в концентрации 50 мг / л, окрашивают воду в концентрации 1000 мг / л и не имеют запаха. При концентрации 1 мг / л никель значительно увеличивает мутность воды.

Влияние никеля на людей и теплокровных животных:

Никель оказывает вредное воздействие на организм человека даже в концентрациях значительно менее 1 мг / л. Смертельная доза для

тепнокровных животных составляет 34 мг / кг массы тела, для собак - 10-20 мг / кг массы тела.

Никель также может вызывать аллергические реакции (чесотка, экзема), поглощаться кожей и оказывать общее токсическое действие. Кроме того, по некоторым данным, никель обладает определенным канцерогенным и мутагенным действием.

Следовательно, влияние компонентов растворов и электролитов гальванического производства (особенно никелирование) представляет серьезную опасность для окружающей среды.

7.3 Пожарная безопасность

Анализ статистики пожаров показывает, что около 20% случаев пожаров связаны с неисправностью или неисправностью электрических систем. Частота пожаров в связи с электрическими устройствами в жилых зданиях особенно высока. Здесь количество пожаров, вызванных тепловым воздействием электрического тока, достигает 53% от общего количества пожаров.

Высокие темпы роста рабочей силы в промышленности, строительстве, оснащении квартир электрическими обогревателями и другими устройствами увеличивают вероятность возникновения пожаров из-за неисправностей устройств и перегрузок сети и требуют большего внимания к надлежащему функционированию электрических устройств.

Основными причинами пожаров являются короткие замыкания в кабелях и электрических устройствах (69%), которые оставляют системы электрического отопления без присмотра (21%), перегрев из-за плохого контакта (около 6%) и перегрузка электрических систем (около 3%).

Причиной пожара часто является нарушение правил противопожарной защиты при выполнении электросварочных работ и несоблюдение огнестойких расстояний от ламп, электроплит и т. Д. От горючих материалов и конструкций.

Лица, ответственные за состояние электрических систем по приказу руководителя предприятия или цеха, должны:

- Обеспечить своевременные профилактические осмотры и профилактическое обслуживание электрооборудования, а также своевременное устранение нарушений правил эксплуатации бытовых электрических систем, которые могут вызвать возгорание и ожоги;
- контролировать правильное использование и выбор кабелей, проводов, двигателей, ламп и другого электрооборудования в соответствии с классом помещений, в которых существует риск пожара и взрыва, а также условиями окружающей среды;
- систематически контролировать устройства защиты от короткого замыкания и перегрузки, а также устройства молниезащиты и поддерживать их в исправном состоянии;
- организовать обучение и инструктаж электротехнического персонала по противопожарной защите при эксплуатации электрических систем;
- Обеспечение технического обслуживания средств для ликвидации пожаров в электрических системах и кабельных сооружениях.

Дежурный электрик (сменный электрик) должен периодически проводить профилактические проверки электрооборудования, проверять наличие и техническое обслуживание защитных устройств и незамедлительно принимать меры для предотвращения нарушений, которые могут привести к пожару.

Наиболее важные противопожарные меры при эксплуатации электрических систем

При проверке электрических систем особое внимание следует уделить состоянию контактов: наличию искр в выключателях, штекерных соединений, винтовых соединений и т. Д.

Ослабление контактов неизбежно приводит к недопустимому нагреву токоведущих винтов и проводов, подключенных к ним. Если обнаружено чрезмерное нагревание контактов и кабелей, необходимо принять меры для

разрядки или выключения устройства. Восстановление контактов (зачистка, затяжка винтовых соединений) должно осуществляться в соответствии с мерами безопасности от поражения электрическим током. Кабельные каналы должны быть чистыми. Их запор особенно недопустим для легковоспламеняющихся материалов.

Электродвигатели, лампы, кабели и панели управления должны очищаться от горючей пыли не реже двух раз в месяц, а в местах со значительными выбросами пыли - не реже одного раза в неделю.

Во время работы необходимо следить за равномерной нагрузкой фаз однофазных потребителей энергии: освещения, электрообогревателей. Следует отметить, что при наличии однофазных приемников энергии ток протекает через нейтральный рабочий провод, величина которого может достигать амплитуды фазного тока. Поэтому поперечное сечение нейтрального провода в системах освещения с газоразрядными лампами должно быть таким же, как и поперечное сечение фазных проводов.

Одной из причин пожаров является нагревание, когда ременные приводы проскальзывают. При проверке и ремонте электрических систем необходимо контролировать правильное натяжение плоских и трапецевидных ремней для двигателей и транспортных систем (конвейерные ленты, элеваторы и т. Д.). Результаты проверок, выявленные недостатки и принятые меры отмечены в журнале компании.

Будьте особенно осторожны при работе с паяльной лампой. следующим образом:

- Заполняйте лампы только тем топливом, для которого они предназначены.
- Не наливайте более 3/4 своей емкости в бак лампы.
- Оберните крышку заливной горловины как минимум 4 нитками.
- Не переполняйте лампу во избежание взрыва.
- Не зажигайте паяльную лампу, добавляя в нее горючую жидкость.

- немедленно прекратить работу, если лампа неисправна (потеря бака, потеря газа через резьбу горелки и т. Д.);

Не проливайте и не разливайте топливо и не разбирайте лампу возле огня.

Важнейшие меры противопожарной защиты для эксплуатации электрических систем. Важнейшими методами улучшения противопожарной защиты электрических систем являются их реализация в соответствии с ЭМИ, правильный выбор защиты от коротких замыканий и перегрузок, а также соблюдение требований технических стандартов эксплуатации электрических систем с учетом условий нагрузки, ремонтных работ и т. Д. Перегрузочные кабели и электрические устройства, выходящие за рамки указанных стандартов, не допускаются. Контроль нагрузки должен выполняться с помощью фиксированных амперметров или амперометрических клемм.

Все электрические системы должны быть защищены от токов короткого замыкания и других ненормальных условий, которые могут привести к пожару (автоматические выключатели, предохранители, устройства защиты от перенапряжений и т. Д.). Настройки для предохранителей и автоматических выключателей должны соответствовать сечению кабеля и допустимым нагрузкам. Не разрешается, по крайней мере временно, заменять перегоревшие предохранители на «жучки» и перемычки.

Номинальные токи предохранительных блоков и установочные токи машин каждой линии указаны на каждой панели, и должен быть запас откалиброванных предохранительных блоков.

Все соединения, соединения и ответвления проводов, которые производятся во время работы, выполняются точно - путем обжима, пайки, сварки, затягивания винтом и т. Д. Запрещается тянуть провода с помощью крючков и скручиваний.

На пожароопасных участках производственных и складских помещений с горючими материалами (бумага, хлопок, лен, резина и т. Д.) И

продуктами в легковоспламеняющейся упаковке, лампами и электрическими устройствами необходимо закрывать или защищать. Легковоспламеняющиеся предметы и материалы не допускаются вблизи проводов.

Проектирование и эксплуатация временных электрических сетей принципиально не разрешены. Временные системы освещения и электрические соединения, которые обеспечивают место, где выполняются строительные, временные ремонтные и монтажные работы, могут быть исключением. Такие установки должны выполняться в соответствии со всеми требованиями PUE.

Провода и кабели должны использоваться для портативных приемников энергии. Для портативного инструмента и других мест, где возможны шлифовка и разрыв, необходимо следить за состоянием проводов в точках входа.

Переносные фонари оснащены крышками и стеклянными сетками. Лампы (стационарные и переносные) не должны соприкасаться с легковоспламеняющимися конструкциями и легковоспламеняющимися материалами. Кабели должны быть защищены от механических повреждений.

Согласно правилам технической эксплуатации, необходимо регулярно измерять сопротивление изоляции проводов и электрических устройств. В сетях с напряжением до 1000 В сопротивление изоляции каждого участка сети составляет не менее 0,5 МОм

В четырехпроводных сетях необходимо следить за состоянием контактов и надежностью изоляции нейтральных и фазных проводов.

Электрические устройства должны содержаться в хорошем состоянии под постоянным наблюдением. Дефектные розетки, автоматические выключатели и другие устройства не допускаются.

При эксплуатации электрических систем запрещается:

- Используйте электродвигатели и другие электрические устройства, нагрев поверхности которых во время работы превышает температуру окружающей среды более чем на 40 ° С;

- кабели и провода с поврежденной изоляцией; электронагреватели без огнеупорных опор. Кроме того, вы не можете подключить их без присмотра долго.

- Используйте нестандартные электрические плиты (самодельные) или электрические лампочки для отопления помещений.

- Оставляйте провода под напряжением и кабели с открытыми концами.

Во время завершения работ (ночью, в выходные и праздничные дни) все кабели в помещениях, где существует риск возгорания, отсоединяются от распределительной панели. При необходимости аварийное освещение может оставаться включенным. По возможности рекомендуется разделять сети во время перерывов на работу и в помещениях с нормальной обстановкой.

При использовании металлических конструкций и лент для электрической сварки в качестве заземляющей проволоки необходимо обеспечить надежный контакт всех соединений, сваривая отдельные секции вместе, чтобы предотвратить искры и перегрев во время протекания сварочного тока.

Использование дерева в качестве изоляции в электрических конструкциях не допускается. При создании экранов для деревянных прилавков предохранители должны быть установлены с передним кабельным соединением, а отверстия для проводов должны быть снабжены надежно закрепленными фарфоровыми или пластиковыми розетками.

Не храните легковоспламеняющиеся жидкости в электрических помещениях.

Костюмы должны храниться в специальных помещениях, которые подвешены в развернутом виде, чтобы предотвратить самовозгорание.

Смазанные тряпки и полотенца не следует оставлять в карманах. Смазанный моющий материал может самовоспламеняться и поэтому должен быть сложен в металлические коробки. Материал, используемый для очистки, должен ежедневно удаляться из рабочих помещений, в частности, для того, чтобы чистящие материалы не оставались вблизи существующих электрических устройств, а также в панелях управления и розетках.

Огнетушители в электрических системах:

Тушение пожаров в электрических системах Первичные огнетушители должны быть доступны в электрических системах.

Чтобы обеспечить мобильное использование пожарных, подходы для электрических устройств и входы в помещения и подстанции для электрических машин не должны быть перегружены.

Песок используется для тушения небольших пожаров от кабелей, кабелей и легковоспламеняющихся жидкостей. Войлок и асбестовая ткань выбрасываются на поверхность горения, чтобы изолировать источник возгорания и заблокировать доступ воздуха.

Углекислотные огнетушители используются для тушения живого оборудования и легковоспламеняющихся жидкостей. Колокол направлен на огонь и открывает клапан. Будьте осторожны при использовании огнетушителя: не перемещайте колокол над токоведущими частями и не прикасайтесь к нему, чтобы не замерзнуть.

Использование пенных огнетушителей разрешается только с неподключенными устройствами.

Проверяйте углекислотные огнетушители один раз в месяц. Масса баллона с углекислым газом проверяется каждые 3 месяца; проверить на утечку углерода через клапан.

Первый человек, заметивший пожар или пожар, должен немедленно уведомить пожарных и дежурных офицеров в мастерской или в электрооборудовании, а затем сам начать тушить пожар подручными средствами.

Соединения, на которых устройство включено, должны быть отключены без предварительного разрешения старшего сервисного представителя, но с его последующим уведомлением.

Невозможно потушить пожар водой без снятия напряжения (в особых случаях возможны исключения в соответствии со специальными инструкциями для пожарных).

В случае пожара трансформатор отключается со всех сторон, а затем гасится струей воды и огнетушителями.

В случае пожара консоли и пульта управления сбрасывают напряжение и тушат углекислотным и песочным огнетушителями.

В случае пожара кабельные каналы опорожняются и тушатся с помощью компактной струи воды. На начальном этапе камин может быть покрыт песком. Должны быть приняты меры для изоляции источника огня от соседних помещений. Вентиляция должна быть отключена.

Следует отметить, что многие из полимерных материалов, используемых для изоляции и защиты кабелей, а также пластика, выделяют при сгорании токсичные вещества, которые оказывают удушающее действие и разрушают легкие, кровь, нервную систему и т. д.

По прибытии пожарных персонал смены проинструктирует наличие поблизости находящихся под напряжением частей и даст письменное разрешение на тушение пожара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе учитываются проблемы компенсации реактивной мощности в промышленных системах электроснабжения преобразовательных агрегатов.

Одной из основных проблем, которые необходимо решить при проектировании и эксплуатации промышленных систем электроснабжения, является проблема компенсации реактивной мощности, которая включает в себя расчет и выбор компенсационных устройств, их регулирование и размещение на территории предприятия.

Коррекция коэффициента мощности имеет большое значение и является частью общей проблемы повышения эффективности систем электроснабжения и повышения качества электроэнергии.

Реактивный компонент неизбежен при работе многих промышленных устройств и поэтому не может быть полностью исключен. Однако целесообразно использовать средства для снижения потребления от блока питания.

Для этого необходимо приблизить источники реактивной мощности к местам потребления и уменьшить прием реактивной мощности от системы электропитания. Это значительно облегчает нагрузку на слепые линии и трансформаторы.

Снижение потребления реактивной энергии в компании достигается путем компенсации реактивной мощности как за счет естественных мер (суть которых заключается в ограничении влияния приемника на источник питания путем воздействия на сам приемник), так и с помощью специальных компенсационных устройств (мощности), реагирующих на соответствующие. Установить топливную систему.

Использование устройств компенсации реактивной мощности и искажений должно предшествовать подробному технико-экономическому обоснованию ввиду высокой стоимости и сложности этих устройств.

Интенсивная разработка устройств для преобразования силовых полупроводниковых приборов и их использование в приводах переменного и тиристорного преобразователей клапанов переменного и постоянного тока для электротермических и электротехнических систем различного назначения привели к ухудшению качества электроэнергии.

В условиях все более широкого использования клапанных преобразователей эта проблема сопровождается заметным техническим и экономическим ущербом. Есть два способа устранить это: внешняя и внутренняя компенсация.

Внешняя компенсация основана на использовании различных компенсационных устройств, которые генерируют реактивную мощность в сети: конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы, регулируемые и нерегулируемые источники реактивной мощности. Это также включает устройства компенсации фильтра на основе реакторов и конденсаторов.

Внутренняя компенсация включает в себя как уменьшение потребляемой реактивной мощности, так и генерирование высших гармоник за счет изменений в самом преобразователе.

В сетях с высоким содержанием высших гармоник, которые генерируются сильно изменяющимися нелинейными нагрузками с более высоким потреблением реактивной мощности (например, вентильным преобразователем), использование традиционных устройств компенсации реактивной мощности, которые рассчитаны на синусоидальные токи и напряжения, создает серьезные технические трудности.

Расчеты показывают, что установка часто используется для компенсации реактивной мощности конденсаторных батарей в системах

Поставка промышленных предприятий при наличии вентиляционных нагрузок может быть недопустимой

Проблемы с реактивной мощностью до конца

Из этого можно сделать вывод, что значения удельных свойств реактивной мощности следующие:

1. Из-за низкого коэффициента энергопотребления и быстро меняющегося характера нагрузки он должен обеспечивать компенсацию постоянных и переменных компонентов реактивной мощности.

2. Из-за быстрых изменений потребления реактивной энергии требуется быстрое изменение реактивной мощности.

3. Из-за нерегулярного потребления реактивной мощности в фазах, это также необходимо в фазе управления

4. Ограниченное использование аккумуляторных конденсаторов для компонента с постоянной реактивной мощностью в сети с быстро меняющейся нагрузкой клапана. Это связано с наличием в сети более высоких гармоник тока и напряжения с нелинейными нагрузками. Высшие гармоники приводят к значительным перегрузкам в конденсаторах батареи.

В связи с этим, что касается сетей с симметричными и нелинейными асимметричными нагрузками, разрабатываются и изготавливаются устройства полной компенсации и симметричные фильтры, которые в то же время компенсируют недостаток реактивной мощности основной частоты и фильтруют высшие гармоники и отклонения от колебаний и колебаний напряжения, а также симметричное напряжение Сеть.

При быстрых и сильно изменяющихся сенсорных нагрузках использование статических компенсаторов реактивной мощности становится многообещающим и практически предлагает возможность инерционного управления реактивной мощностью. В то же время улучшаются условия

статической устойчивости энергетических показателей электрических систем.

Компенсаторы статической реактивной мощности являются перспективным средством рациональной компенсации реактивной мощности благодаря своим положительным свойствам, таким как высокоскоростное управление, подавление колебаний напряжения, балансировка нагрузки и отсутствие вращающихся частей. регулярное регулирование реактивной мощности в сети и т. д. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется его развитию и развитию в стране и за рубежом.

Быстрое развитие мирового производства статических тиристорных компенсаторов обусловлено их преимуществами по сравнению с традиционными компенсаторами реактивной мощности при решении ряда насущных проблем в электроэнергетическом секторе.

Эти задачи включают в себя необходимость компенсации реактивной мощности в местах, где потребляется электроэнергия, и на промежуточных станциях в длинных линиях, чтобы повысить стабильность напряжения для потребителей и уменьшить потери в линиях электропередач и электрических сетях потребителей. и увеличить пропускную способность.

На основании исследований, проведенных в работе, можно сделать вывод, что статические тиристорные компенсаторы открывают новые возможности для повышения надежности и качества электрических систем, которые, помимо компенсации реактивной мощности, позволяют ограничивать переключающие перенапряжения и, следовательно, согласовывать изоляцию высоковольтных передающих устройств, увеличивать ограничение мощности на длинных линиях, режимы балансировки, снижение потерь в линиях, компенсация влияния быстро развивающейся нагрузки, фильтрация высших гармоник.

На современном этапе развития технологии высоковольтных преобразователей предпочтительной схемой STK является тиристорно-тиристорная схема с шестью или двенадцатью импульсами с необходимым набором схем компенсации фильтра.

Из всех рассмотренных выше средств компенсации реактивной мощности особое место принадлежит компенсированным выпрямителям. Это специальные системы преобразования со сложными законами управления для отдельных мостов или групп клапанов. Действительно, следует признать, что они не являются идентичными альтернативами компенсированным выпрямителям, не ставя под угрозу достоинства других средств увеличения энергетических показателей. Эти средства, как правило, менее эффективны, чем компенсированные выпрямители, с точки зрения эффективности использования компенсационных устройств, что является решающим во многих практических случаях в условиях дефицита мощности конденсатора, указанного выше.

Другое характерное преимущество только компенсированных выпрямителей заключается в том, что реактивная мощность компенсируется непосредственно в точке потребления. Последнее позволяет улучшить основные свойства самих выпрямителей и довести свойства всей подстанции до уровня, который не может быть достигнут другими методами компенсации.

Рекомендуется использовать эти схемы в основном для мощных электроприводов, поскольку система управления преобразователем является более сложной и дорогой.

В этом документе мы суммировали устройство компенсации реактивной мощности. Устройство основано на статическом реактивном источнике энергии, который состоит из индуктивности, управляемой тиристорным преобразователем и конденсаторной батареей.

Для управления тиристорными преобразователями в работе используется система импульсного управления фазой, с помощью которой можно преобразовать управляющее напряжение, подаваемое на его вход, в импульсы управления тиристором.

С помощью устройства вы можете установить реактивную мощность, генерируемую в сети электропитания промышленной компании, проверить значения тока для напряжения, тока и коэффициента мощности в сети, измерить значение реактивной мощности, вырабатываемой в системе, и значение электропитания в сети, указанное потребителем.

Достоинством проектируемого устройства является плавное регулирование генерируемой в систему реактивной мощности, что достигается за счет использования в качестве регулирующих элементов тиристорных преобразователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472с.
2. Минин Г.П. Реактивная мощность. – М.: Энергия, 1978. – 88с.
3. Коновалова Л.А., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528с.
4. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебник для учащихся техникумов. – М.: Высшая школа, 1981. – 376с.
5. Дирацу В.С. и др. Электроснабжение промышленных предприятий. – К.: Вища школа, 1974. – 280с.
6. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2т. Т.1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568с.
7. Зимин Е.Н., Кацевич В.Л., Козырев С.К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192с.
8. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1973. – 584с.
9. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 136с.
10. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – К.: Техніка, 1981. – 160с.
11. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319с.

12. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368с.

13. Добрусин Л.А. Широкополосные фильтрокомпенсирующие устройства для тиристорных преобразователей // Электричество. – 1985. – №4. – с. 27-30.

14. Бортник И.М., Буряк С.Ф., Ольшванг М.В., Таратута И.П. Статические тиристорные компенсаторы для энергосистем и сетей электроснабжения // Электричество. – 1985. – №2 – с. 13-19.

15. Статические компенсаторы реактивной мощности в электрических системах: Пер. тематического сб. рабочей группы Исследовательского Комитета №38 СИГРЭ / Под ред. И.И. Карташева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 174с.

16. Хохлов Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 355с.

17. Супронович Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок: Пер. с польск. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136с.